PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE ESMERALDAS



ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

TESIS DE GRADO

TÍTULO:

SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y ACCESO UNIFORME PARA ENTIDADES DE ECOSISTEMAS DE INTERNET DE LOS AGENTES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

SISTEMAS INTELIGENTES

PREVIO AL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

AUTOR:

PALACIOS CORNEJO PIERO JOSÉ

ASESOR:

PABLO PICO VALENCIA, PhD.

ESMERALDAS, 2021

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de Grado de la PUCESE previo a la obtención del título de INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN.

.....
PhD. Pablo Pico Valencia

Tutor de Tesis

.....
Mgt. Manuel Nevárez Toledo

Lector 1

.....
Mgt. Juan Casierra Cavada

Lector 2

.....
Mgt. Susana Patiño Rosado

Coordinadora Escuela de Sistemas y Computación

AUTORÍA

Yo, PIERO JOSE PALACIOS CORNEJO portador de la cédula de identidad No. 0802959148 declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento como informe final, previo a la obtención del título de “Ingeniero de Sistemas y Computación” son absolutamente originales, auténticos y personales.

En tal virtud, declaro que el contenido, las conclusiones y los efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo propuesto de investigación y luego de la redacción de este documento son y serán de mi sola, exclusiva responsabilidad legal y académica.

.....

Piero José Palacios Cornejo

C.I. 080295914-8

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado en primer lugar a Dios todopoderoso quien nunca me abandonó en ninguna etapa de este duro camino que ha sido mi carrera universitaria y en segundo lugar a mi abuelo Diego Orlando Palacios Piguave por ser mi motivación para seguir adelante a pesar de las dificultades que se han presentado y por último a todas las personas que me apoyan y quieren lo mejor para mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a mi mamá, Peggy Cornejo Ordóñez y a mi papá, William Palacios Santana por estar siempre conmigo a pesar de todos mis errores y defectos.

A mis hermanos William y Diego Palacios Cornejo que me motivan en el día a día para ser mejor persona y siempre estar para mí cuando los necesito.

A mis abuelos, tíos, primos y amigos más cercanos por estar ahí en todos los momentos difíciles y por los consejos brindados los cuales me han ayudado a llegar hasta aquí.

A mis compañeros de clases que con el pasar del tiempo nos convertimos en un grupo muy unido y supimos superar cada uno de los obstáculos que se nos presentaron y se convirtieron en un apoyo fundamental para el caminar de la vida universitaria.

Y por último a cada uno de mis profesores que desde el jardín hasta la universidad me han enseñado no sólo sus conocimientos sino valores que me han ayudado a crecer a como ser humano.

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el fin de diseñar y construir un modelo de comunicación uniforme dentro de un ecosistema de Internet de los Agentes (IoA) el cual debe tener la capacidad de comunicarse con otros tipos de ecosistemas. Para el desarrollo del presente trabajo se consideraron ecosistemas basados en los paradigmas de Internet de las Cosas (IoT), Internet de los Servicios (IoS) e Internet de las Personas (IoP).

El desarrollo de la investigación inició realizando una revisión bibliográfica de todos los tópicos y paradigmas de Internet que intervienen dentro de la misma. Subsecuentemente se procedió al análisis y posterior diseño del modelo de comunicación y una vez determinados estos elementos se realizó la construcción del modelo. Para la construcción de dicho modelo se consideró el desarrollo de un sistema de preguntas tipo test donde se encuentran inmersos los siguientes patrones de interacción: Humano – Agente, Humano – Servicio, Humano – Objeto y Agente – Servicio, los cuales son parte fundamentales dentro del funcionamiento del modelo.

Dentro del desarrollo del sistema de prueba mencionado fue necesario implementar técnicas de ingeniería de software para la recolección de requerimientos y el análisis del sistema de evaluación sumativa, los cuales fueron utilizado posteriormente para su diseño y construcción. Además, se consideraron las principales métricas de desarrollo de *frontend* de manera que el usuario del sistema (humano) tuviera una experiencia agradable a la hora de interactuar con el mismo.

Para finalizar se implementó la interfaz de comunicación basada en el uso de identificadores de recursos uniformes (URIs) para realizar el proceso comunicativo entre las entidades participantes. El uso de la interfaz de comunicación propuesta brindó una mayor estabilidad, eficiencia y uniformidad, ya que todos los elementos establecen comunicación entre sí a través un mecanismo estándar como son las URIs. Además, se logró identificar los puntos altos de cada uno de los elementos y/o tecnologías que fueron consideradas para el desarrollo de la investigación, lo cual reconfirma con certeza que estas permiten generar un modelo que sea adaptable a múltiples escenarios en los cuáles se puede ver envuelto.

Palabras clave: IoA, comunicación, IoT, desarrollo, patrones.

ABSTRACT

This research was conducted in order to design and build a uniform communication model within an Internet of Agents (IoA) ecosystem that must have the ability to communicate with other types of ecosystems. For the development of this work, ecosystems based on the Internet of Things (IoT), Internet of Services (IoS) and Internet of People (IoP) paradigms were considered.

The development of the research began by carrying out a bibliographic review of all the topics and paradigms of the Internet that intervene within it. Subsequently, the analysis and subsequent design of the communication model was carried out and, once these elements had been determined, the model was built. For the construction of this model, the development of a system of multiple-choice questions was considered, where the following interaction patterns are immersed: Human-Agent, Human-Service, Human-Object and Agent-Service, which are a fundamental part of the model's operation.

Within the development of the mentioned test system it was necessary to implement software engineering techniques for the collection of requirements and the analysis of the summative evaluation system, which were later used for its design and construction. In addition, the main frontend development metrics were considered so that the user of the system (human) would have a pleasant experience when interacting with it.

Finally, the communication interface was implemented based on the use of uniform resource identifiers (URIs) to carry out the communication processes between the participating entities. The use of the proposed communication interface provided greater stability, efficiency and uniformity, since all elements establish communication between them through a standard mechanism such as URIs. In addition, it was possible to identify the high points of each of the elements and/or technologies that were considered for the development of the research, which reconfirms with certainty that these allow the generation of a model that is adaptable to multiple scenarios in which it can be involved.

Keywords: IoA, communication, IoT, development, patterns

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN I
AUTORÍA II
DEDICATORIA III
AGRADECIMIENTO IV
RESUMEN V
ABSTRACT VI
ÍNDICE GENERAL VII
INTRODUCCIÓN 1
Objetivos 3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO 4
1.1. Bases conceptuales 4
1.1.1. Internet de los agentes 4
1.1.1.1 Sistemas multiagentes (SMA) 4
1.1.1.2 Agentes software 5
1.1.1.3 Arquitecturas de agentes 5
1.1.1.4 Marcos de trabajo JADE 7
1.1.2. Internet de las cosas 8
1.1.2.1 Tecnologías 9
1.1.2.2 Estándares de comunicación 9
1.1.2.3 Arquitectura 11
1.1.2.4 Internet de los servicios 13
1.1.2.5. Internet de las personas 15
1.1.3. Interacción en ecosistemas de IoA 15
1.1.3.1 Entidades participantes 16
1.1.3.2 Patrones de interacción 16
1.2. Antecedentes 19
1.3 Marco legal 20
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA 22
2.1. Tipo de investigación 22

2.2. Diseño de la investigación 22
2.3 Variables sujetas a investigación 23
2.4. Tecnologías empleadas 26
2.5. Normas éticas 28
CAPÍTULO III: RESULTADOS 29
3.1. Interfaz de comunicación 29
3.1.1. Análisis de protocolos de comunicación 29
3.1.2 Patrones de interacción en IoA 30
3.1.3 Interfaz de comunicación 31
3.2. Caso de estudio 34
3.2.1. Escenario 34
3.2.2. Requisitos funcionales 37
4.3 Evaluación del sistema 42
4.4 Análisis de las variables de la calidad del software 42
4.4.1 Evaluación de calidad de datos 43
4.4.2 Evaluación de rendimiento 44
4.4.3 Evaluación de usabilidad 45
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN **48**
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **51**
BIBLIOGRAFÍA 53
ANEXOS 58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Modelo de arquitectura reactiva.....6
Figura 2.- Modelo una arquitectura deliberativa 7
Figura 3.- Puntos de vistas dentro de IoT 10
Figura 4.- Arquitecturas de IoT. (a) tres capas. (b) basadas en middleware. (c) basada en AOS. (d) cinco capas 12
Figura 5.-Arquitectura de los servicios web 14
Figura 6.- Internet de las personas 15
Figura 7.- Modelo interacción humano-máquina. 17
Figura 8.- Modelo de interacción máquina-máquina.....18
Figura 9.- Modelo de patrón de interacción humano-humano 18
Figura 10.- Comunicación agente – objeto.....31
Figura 11.- Código de interfaz de comunicación entre agente – objeto 32
Figura 12.- Comunicación objetos – servicios 32
Figura 13.- Interfaz de comunicación entre objeto-servicio.....33
Figura 14.- Comunicación agentes – servicios.....33
Figura 15.- Interfaz de comunicación entre agente – servicio.....34
Figura 16.- Principales entidades participantes en el entorno de experimentación.....35
Figura 17.- Diagrama de comunicación entre entidades participantes.....36
Figura 18.- Diagrama de secuencia de usuario estudiante.....38
Figura 19.- Diagrama de secuencia de usuario administrador.....39
Figura 20.- Interfaz para realizar gestión de datos con el servicio 40
Figura 21.- Formulario de ingreso de nombres. (a) Detección de rostro con cámara. (b) Pantalla de cuestionario. (c) Pantalla de visualización de nota obtenida. (d).....41
Figura 22.- Grafica de predicción de notas.....42
Figura 23.- Rendimiento del sistema.....44
Figura 24.- Efectividad del sistema 46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales variables e indicadores sujetos a estudio.....23
Tabla 2.- Protocolos utilizados para creación de patrones.....29
Tabla 3.- Tiempo de respuesta por entidades.....44

INTRODUCCIÓN

Presentación de la investigación

El presente trabajo de investigación titulado “Sistema de comunicación y acceso uniforme para entidades de ecosistemas de Internet de los Agentes (IoA)” está enfocado en el desarrollo de una interfaz “universal” de comunicación, interacción y acceso, la cual es factible de ser implementada en ecosistemas heterogéneos de IoA [1]. Como aspecto importante a destacar en el proceso se puede mencionar a las entidades participantes que existen dentro de ecosistemas de este tipo tales como: objetos/dispositivos/cosas, servicios, contenido/recursos, personas y agentes software.

Planteamiento del problema

En la actualidad se puede evidenciar el crecimiento vertiginoso de las comunicaciones inalámbricas y el uso de Internet para desarrollar las actividades cotidianas y de trabajo realizadas por el hombre. A partir de la conectividad de dispositivos compatibles con la conexión a Internet surge un paradigma novedoso denominado Internet de las Cosas (IoT) [1]. De éste, surgen otros paradigmas emergentes entre los que se incluye IoA.

El paradigma denominado IoA se origina por la necesidad de añadir un componente de proactividad, inteligencia y colaboración en los ecosistemas de IoT [1]. Un ecosistema de esta naturaleza incorpora mecanismos para la gestión eficiente y eficaz de las comunicaciones inalámbricas entre los dispositivos conectados a Internet; pero no incorpora métodos especializados que le permitan a dichos dispositivos actuar de manera autónoma. En su mayoría los dispositivos se enfocan en operar en base a las acciones ejecutadas por los usuarios a través de un navegador de Internet o un dispositivo móvil. Entonces, el IoA, paradigma que fusiona las tecnologías orientadas a agentes y las tecnologías de IoT, aparece como una alternativa para dar solución a estas limitaciones y hacer que los ecosistemas de IoT puedan operar de una forma más autónoma y proactiva.

De forma complementaria al modelado de características como la autonomía y la proactividad, el IoA, a través de los agentes software, busca también habilitar el modelado de acciones inteligentes y colaborativas entre los dispositivos conectados a ecosistemas de IoT. En este sentido, se requiere que adicional a la gestión de las comunicaciones entre los

dispositivos de IoT, se deban desarrollar mecanismos uniformes, y en el mejor de los casos estandarizados, que faciliten la interacción entre los dispositivos de IoT y los agentes software. Sin embargo, tomando en cuenta que el IoT está aprovechando tecnologías emergentes como la computación orientadas a servicios y recursos, y nuevas formas de interacción humano-ordenador, se hace indispensable desarrollar interfaces uniformes para que los servicios y las personas puedan comunicarse de manera uniforme a como lo hacen los dispositivos y los agentes.

En la actualidad la comunicación entre entidades del mismo tipo es una problemática. Pero esta problemática se hace mayor cuando entidades heterogéneas como: máquinas (i.e., dispositivos móviles, sensores, objetos inteligentes), usuarios (i.e., usuarios técnicos y no técnicos) y recursos digitales (i.e., servicios, recursos, nube) deben interactuar entre ellos. Es necesario entonces diseñar un modelo uniforme que facilite la comunicación y el acceso a las entidades previamente especificadas, que forman parte de un ecosistema de IoA. A partir de las interfaces diseñadas e implementada será posible el desarrollo de sistemas interoperables entre entidades que forman parte del mismo ecosistema, así como de ecosistemas heterogéneos. Asimismo, con el objetivo de evaluar las interfaces propuestas se establecerá un ambiente de prueba en el área de la Robótica Educativa, donde intervendrán varias de las entidades previamente mencionadas enfocadas en mejorar el rendimiento de los estudiantes.

Justificación

Con la creación de un sistema de comunicación y acceso, construido a partir de estándares y considerando cada uno de los elementos que intervienen en todo el proceso de interacción en un ecosistema de IoA, y enfocándolo a un ambiente de prueba específico, este trabajo de investigación brinda la posibilidad de mejorar el nivel de interoperabilidad entre cada una de las entidades que participan en este tipo de ecosistemas.

Cabe destacar que la implementación y el desarrollo de esta interfaz abre un abanico de posibilidades en referencia a todos los campos de aplicación en los que se puede desenvolver, es decir, que la interfaz a desarrollar tendría un alto potencial dentro cualquier ecosistema heterogéneo de IoA debido a la uniformidad para que las entidades participantes (servicios, agentes, objetos o cosas) puedan establecer comunicación de manera uniforme.

El hecho de que el IoA es un paradigma emergente que surge a raíz de la necesidad de integrar agentes inteligentes para la gestión de los recursos de IoT requiere que investigue cómo los objetos de IoT y los agentes software, así como los usuarios, servicios y recursos, deben comunicarse entre sí, independientemente de si se encuentran operando en el mismo ecosistema de IoA o en otros ecosistemas externos. Ello permite ofrecer un alto nivel de interoperabilidad entre aplicaciones de IoT dirigidas por agentes, aspecto que aún requiere ser mejorado, en el ámbito de las tecnologías orientadas a agentes, de manera similar a cómo se lo ha alcanzado a nivel de servicios web, un paradigma don del consumo de servicios ofrecidos puede realizarse independientemente de la plataforma en la que cada servicio ofrecido por un proveedor haya sido creado.

En el caso específico de la Tecnología Educativa la implementación de la interfaz permitió en primera instancia la evaluación de la comunicación entre agentes software (agentes de recomendación), personas (estudiantes) y servicios (servicios educativos) de una forma uniforme. Por otro lado, ha sido posible establecer recomendaciones técnicas que permitan extender el modelo hacia otros tipos de entidades no consideradas como parte de un ecosistema de IoT como es el caso de las habilidades tal como lo propone el Internet de las Destrezas (*Internet of Skills*) [2].

Objetivos

General

Construir un modelo de comunicación uniforme basado en tecnologías web para mejorar la comunicación entre las entidades que intervengan dentro en un ecosistema de IoA.

Específicos

a) Determinar las principales entidades que intervienen dentro en un ecosistema de IoA.
b) Formular el esquema de comunicación entre entidades de un ecosistema de IoA.
c) Implementar el modelo de comunicación uniforme de IoA.
d) Evaluar el modelo de comunicación uniforme propuesto, en un ecosistema de IoA dentro de un entorno de tecnología educativa.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Bases conceptuales

En este apartado se describen las bases teóricas relacionadas con el tema, esto es, los conceptos que describen los paradigmas Internet de los Agentes, Internet de las Cosas, Internet de los Servicios e Internet de las Personas.

1.1.1. Internet de los agentes

El Internet de los agentes (*Internet of Agents*, IoA por sus siglas en inglés), es un paradigma emergente que tiene como finalidad mitigar en gran medida los problemas que presentan los objetos del Internet de las cosas, y así añadir más inteligencia e interoperabilidad [3] entre todas las partes que están involucradas dentro del proceso de comunicación.

Cuando se habla del Internet de los agentes es inevitable hablar del Internet de las cosas (IoT), además el concepto del internet de los agentes surge de la integración entre el IoT y los sistemas multi agentes (SMA) [4]. Sobre este trasfondo, Alqithami y Lützenberg hacen mención que el IoA es una tendencia en curso para que el IoT se adapte a la naturaleza/arquitectura inteligente de los SMA [5]. Por otra parte, Bui y Jung tienen una perspectiva de IoA en la que la combinación entre el IoT y los SMA le permiten al IoT adaptarse a una arquitectura inteligente para de esta forma maximizar la autonomía y flexibilidad en los ecosistemas, y por ende mejorar la integración e interoperabilidad entre sistemas heterogéneos.

Una vez presentadas varias definiciones propuestas por varios investigadores en el campo del IoA, se puede definir al IoA como, un paradigma cuyo fin es reducir la brecha comunicacional que existe entre las entidades que intervienen en el IoT, añadiendo una mejor experiencia más inteligente para cada una de ellas.

1.1.1.1 Sistemas multiagentes (SMA)

Los SMA están conformados por varios agentes autónomos e interactivos que poseen objetivos comunes o en conflicto e información sensorial. Los SMA son comúnmente sistemas descentralizados y asíncronos, aunque en algunas ocasiones pueden ser

centralizados o híbridos. Este tipo de sistemas se han segmentado en base a varios criterios, como la diversidad de los agentes, las capacidades de comunicación y las formas de interacción entre dichos agentes [6].

1.1.1.2 Agentes software

Un agente software puede ser definido "una entidad que opera dentro de un ecosistema y detecta diversos parámetros que se emplean para decidir en base al objetivo de la entidad. La entidad lleva a cabo la acción correspondiente sobre el entorno en función a la decisión tomada" [7]. En esta misma línea, un agente inteligente puede ser concebido como "una entidad autosuficiente con capacidad de efectuar acciones en su entorno con el fin de alcanzar un objetivo" [6].

Dentro del dominio de los agentes software, se puede enumerar varias características propias del mismo. Entre las más importantes figuran las siguientes [8]:

- **Autonomía.** Los agentes tienen la capacidad de trabajar de manera independiente con respecto a otros agentes y sin injerencia de la inteligencia humana.
- **Social.** los agentes alteran a otros agentes o es posible que sean afectados por otros agentes. La comunicación y la interacción es un factor importante en los SMA.
- **Flexibilidad**. Los agentes tienen la responsabilidad de contemplar varios estados y configuraciones para así actuar de forma idónea en múltiples situaciones para alcanzar sus objetivos.
- **Proactividad.** Los agentes tienen la exigencia de perseguir sus objetivos de forma continua y persistente, para poder tomar la iniciativa cuando la situación lo requiera.
- **Robustez**. Los agentes tienen la responsabilidad de superar las fallas al momento de continuar la consecución de su objetivo sin importar los intentos fallidos previos.

1.1.1.3 Arquitecturas de agentes

En el campo de los SMAs existen una gran cantidad de arquitecturas, sin embargo, en este estudio se menciona las que se consideran más importantes. Entre las arquitecturas más relevantes de agentes se tienen la arquitectura reactiva y deliberativa. Dichas arquitecturas se describen como sigue:

Arquitectura Reactiva

La arquitectura reactiva (Figura 1) de agentes se fundamenta en el mapeo directo de la etapa hasta la acción. No se emplea ningún modelo de tipo simbólico central y razonamiento simbólico complejo. El agente emite respuestas fundamentado en los cambios en el entorno asentado en el principio de estímulo-respuesta. La arquitectura reactiva se ejecuta a través de un grupo de sensores y actuadores, en donde la entrada perceptiva se atribuye a los actuadores según los cambios en el entorno [9].

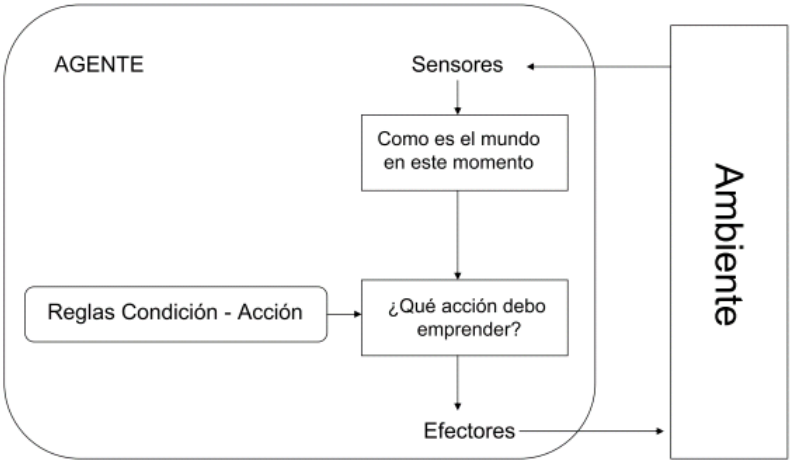


Figura 1.- Modelo de arquitectura reactiva

Arquitectura deliberativa

Conocida como arquitectura deliberativa o simbólica, es una de las arquitecturas de agentes que fundamenta en las bases de los sistemas de símbolos físicos. Esta arquitectura se fundamenta en el enfoque simbólico y modela la conducta del agente representando el conocimiento del agente mediante símbolos [9]. Por consiguiente, la conducta del agente se fundamenta en aspectos actitudinales de los seres humanos tales como: (i) creencias, que poseen la información conocida por el agente y que se actualiza periódicamente como resultado de la percepción del agente [10], (ii) deseos, que son los objetivos con los cuales el agente ejecuta sus planes hasta que considere que el objetivo se ha conseguido o es inalcanzable convirtiéndolo así en un objetivo no deseado [11], y finalmente, (iii)

intenciones, los cuales dirigen el razonamiento basado en medios y fines, restringen las deliberaciones futuras y están representados por una cantidad tiempo de ejecución en base a los planes establecidos [11]. Es importante señalar que esta arquitectura (Figura 2) emplea también el concepto de plan, visto como aquel elemento encargado de especificar los medios a través de los cuales se deben lograr los objetivos [10].

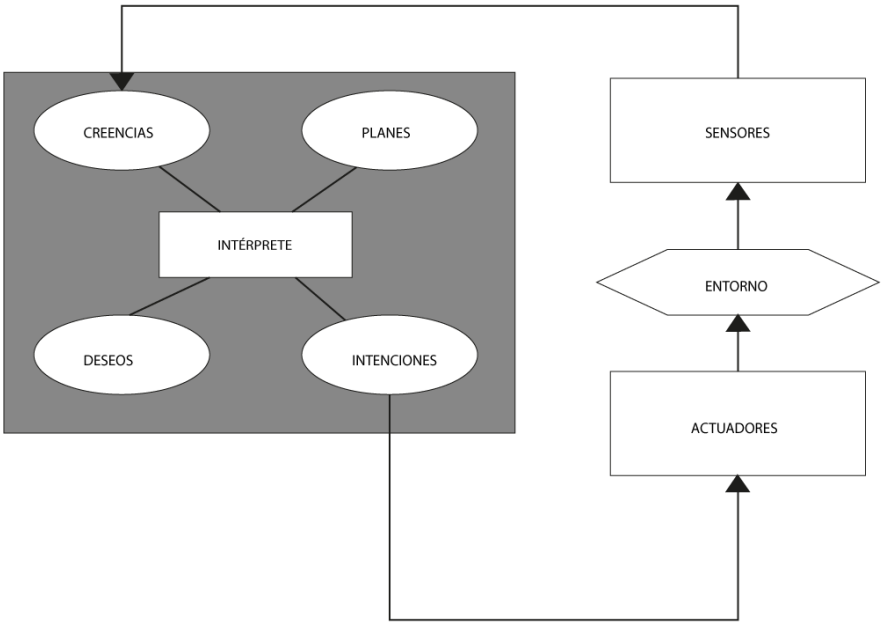


Figura 2.- Modelo una arquitectura deliberativa [10].

1.1.1.4 Marcos de trabajo JADE

JADE (*Java Agent DEvelopment Framework*) es un marco de trabajo de software para agilizar el desarrollo de aplicaciones de agentes en base con las determinaciones FIPA para sistemas multi agentes interoperables. El propósito de JADE es sintetizar el desarrollo a la vez que se garantice la satisfacción de los estándares por medio de un grupo completo de servicios y agentes del sistema [12].

JADE es distribuido a través de código abierto bajo licencia LGPL. Por el hecho de que sea distribuido bajo esta licencia no se restringe de ni ninguna forma a JADE, y da la apertura para que el software propietario tenga cuidado al fusionarse con JADE. Dentro del apartado

de soporte y comunidad se puede saber que, el código es distribuido junto a una guía de programación y una guía de administrador, además de una serie de ejemplos y tutoriales, y por último el *javadoc* absolutamente de todas las API de usuario. Sin embargo, es importante considerar la disponibilidad de buena documentación y un rápido soporte al usuario desde la concepción de un proyecto de código abierto además según FIPA, los agentes son entidades software que están localizadas en una única plataforma.

Una plataforma de agentes es un entorno de ejecución en donde los agentes están ejecutándose y a través del cual disponen de un servicio de páginas blancas para buscar otros agentes, un servicio de páginas amarillas para buscar servicios que otros agentes ofrecen, un módulo de gestión a través del cual se accede a estas facilidades y por último un sistema de envío/recepción de mensajes mediante el cual el AMS puede hacer llegar a su destino los mensajes generados por los agentes ubicados en la misma plataforma [13].

1.1.2. Internet de las cosas

El Internet de las cosas (*Internet of Things*, IoT por sus siglas en inglés) es un paradigma emergente que se va abriendo paso velozmente en el campo de la tecnología inalámbrica. La idea fundamental del IoT es estar presente dentro de todos las cosas u objetos que se encuentran en nuestro entorno, y es que de forma segura se puede afirmar que el punto fuerte de la idea de IoT, es el alto impacto que causará en el día a día y en el comportamiento de los usuarios de ésta.

Dentro del contexto del IoT, la domótica [14], la vida asistida por tecnología [15], la salud electrónica [16] y el aprendizaje mejorado son algunos de los campos de aplicación [17] en los cuales se podrán observar el funcionamiento de este tecnología en un futuro cercano. Por, otra parte [18], un valor muy considerable por parte de IoT es, que cualquiera puede tomar y realizar uso de una diversidad de datos concernientes a entornos naturales. Estos datos permiten que en la actualidad se generen grandes cantidades de datos (big data) y que se puedan realizar predicciones y toma de decisiones lo cual conlleva a que el IoT se mantenga activo y siga desarrollándose. Dentro de esta idea se cree que, de forma proporcional con la que la observación de sangre en un cuerpo humano es de utilidad para comprender la salud de las personas, la observación de datos dentro de un entorno de IoT

coadyuva a captar de mejor manera lo que sucede en cada momento en entornos reales donde los seres vivos se desarrollan (i.e., zoológicos, parques, invernaderos, hogares, industrias, ciudades, entre otras).

El IoT es un portento del avance tecnológico, que optimiza la conectividad en el mundo moderno y la sociedad de la información y la comunicación. Además, permite expandir el alcance de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) [18]. El IoT también puede ser considerada como una solución potencial para que la calidad de la vida de las personas sean más prósperas [19]. Por otro lado, Madakam et al. [20] define al IoT como "una abierta y completa red de objetos inteligentes que tienen la capacidad de auto organizarse, compartir información, datos y recursos, reaccionando y actuando en base a situaciones y cambios en el entorno".

1.1.2.1 Tecnologías

Para el correcto funcionamiento de un entorno de IoT se puede observar la intervención de varias tecnologías, las cuales también están íntimamente relacionadas. En la Figura 3 se ilustran las principales tecnologías involucradas; entre ellas figuran aquellas relacionadas con la comunicaciones de los dispositivos (i.e., RDIF, Wi-Fi, Bluetooth, IEEE 802.15.4), dispositivos físicos reales y virtuales (i.e., web de las cosas, objetos inteligentes) y mecanismos basados en la Web Semántica (i.e., razonamiento semántico, ontologías) orientados a llevar a cabo acciones basada en el significado de los datos generados en un ecosistema de IoT [17].

1.1.2.2 Estándares de comunicación

Las tecnologías o estándares de comunicación IoT permiten establecer interacción que comunican múltiples objetos para dar servicios inteligentes solicitados en todo momento y que cumplan un determinado nivel de calidad de servicio (*Quality of Service,* QoS por sus siglas en inglés).

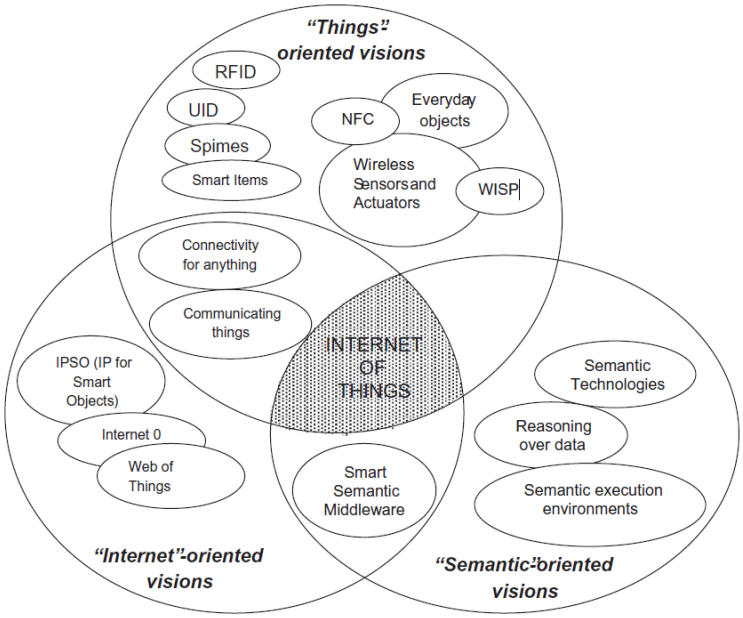


Figura 3.- Puntos de vistas dentro de IoT [17].

Comúnmente, los nodos de IoT deben soportar mecanismos de bajo uso de energía. De allí la necesidad de que soporten también un protocolo de comunicación inalámbrico que le permita al dispositivo operar de manera adecuada teniendo un tiempo de vida elevado si no se encuentra conectado a una fuente de alimentación. Algunos protocolos de comunicación, generalmente empleados para el IoT son los siguientes: Wi-Fi, Bluetooth, IEEE 802.15.4, Z-wave y Long Term Evolution (LTE)-Advanced [21]. Sin embargo, existen varias tecnologías de comunicación que son mucho más específicas y que, también son empleadas al momento de comunicar dispositivos de IoT. Entre los más relevantes figuran los siguientes: Identificación por radiofrecuencia (RFID, *Radio Frequency Identification* por sus siglas en inglés), Comunicación de campo cercano (NFC, Near Field Communication por sus siglas en inglés) y Banda ultra ancha (UWB, Ultra Wide Band por sus siglas en inglés) [21].

A continuación, se describe cada una de las tecnologías enumeradas con anterioridad, en primer lugar, WiFi es un conjunto de estándares de comunicación de red de área local inalámbrica (WLAN). Por ejemplo, 802.11a actúa en la banda de 5 GHz, 802.11b y 802.11 g actúa en la banda de 2.4 GHz, 802.11n actúa en las bandas de 2.4 / 5 GHz, 802.11ac actúa en la banda de 5 GHz y 802.11ad actúa en la banda de 5 GHz. Banda de GHz. Dichos

estándares brindan velocidades de datos de 1 Mb/s a 6.75 Gb/s. Mientras que WiFi brinda un rango de comunicación que van 20 m (interior) hasta 100 m (exterior) [22].

En segundo lugar, Bluetooth es una tecnología de comunicación inalámbrica, la cual cuenta con 79 canales, cada uno con un ancho de banda de canal de 1 MHz [23].

En tercer lugar, el estándar IEEE 802.15.4 delimita una capa física y un control de acceso al medio para redes inalámbricas de baja potencia que direccionan a conexiones seguras y escalables [21].

En cuarto lugar, identificación por radiofrecuencia (RFID por sus siglas en inglés) es un gran progreso dentro del paradigma de la comunicación integrada que aprueba el diseño de microchips para la comunicación inalámbrica de datos. Colaboran en el reconocimiento automático completo de lo que se incorpora para actuar como un código de barras electrónico [24].

En quinto lugar, NFC es una tecnología emergente sin contacto que está basada en el estándar RFID (13.56 MHz) ISO / IEC 14443 y se conecta dentro de un reducido alcance para posibilitar el intercambio de datos entre dispositivos a una distancia muy reducida [25].

Finalmente, LTE es principalmente una comunicación inalámbrica estándar para la transmisión de datos a alta velocidad a través de teléfonos móviles fundamentado en tecnologías de red GSM / UMTS. Es capaz de cubrir dispositivos de viaje rápido y brindar servicios de propagación y multi propagación [21].

1.1.2.3 Arquitectura

La arquitectura del IoT está obligado a ser de naturaleza flexible, debido a que es responsable de intercomunicar varios miles de millones y billones de objetos. Existen varias arquitecturas que han sido planteadas por investigadores para modelar aplicaciones de IoT, sin embargo, aún no existe un arquetipo de referencia específico [26].

Para poder definir una arquitectura idónea para un proyecto determinado, la mayoría de los modeladores de sistemas de IoT parten de arquitecturas comunes tales como: la arquitectura de 3 capas [27], la arquitectura basada en middleware [28], la arquitectura

orientada a servicios [29], la arquitectura de 5 capas [29], entre otras Los elementos que forman dichas arquitecturas son ilustrados en la Figura 4.

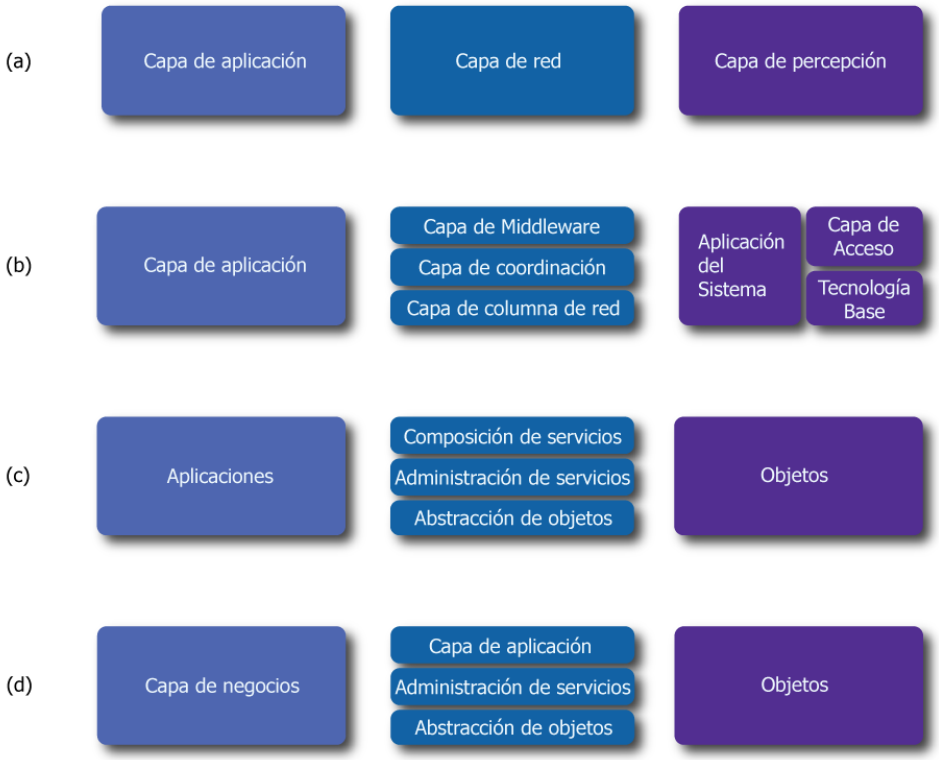


Figura 4.- Arquitecturas de IoT. (a) tres capas. (b) basadas en middleware. (c) basada en AOS. (d) cinco capas [30].

La arquitectura ilustrada en la Figura 4, constituye una arquitectura de 3 capas. En términos generales, cada una de las capas que constituyen la arquitectura tomada como referencia en este trabajo se describe como sigue:

La primera arquitectura (a), es la más elemental para el desarrollo de IoT. La cual está constituida de 3 capas: capa de aplicación, capa de red y la capa de percepción. La capa de aplicación se relaciona con los objetos y elementos físicos por medio de dispositivos inteligentes (RFID, sensores, actuadores, etc.). La capa de red es la capa más fundamental en la arquitectura de IoT, ya que varios dispositivos y múltiples tecnologías de comunicación están incorporada en esta capa. La capa de percepción capta los datos emitidos desde la capa de red y los usa para brindar servicios u operaciones demandadas [27].

Respecto a la segunda arquitectura ilustrada en la Figura (b) además de contar con algunas de las capas descritas previamente, se encuentran otras capas como: la capa de middleware que es una interfaz entre la capa de hardware y la capa de aplicación [28], la capa de columna de la red, la cual no sólo sirve como columna para realizar las conexiones de diferentes dispositivos de IoT, sino que es capaz ofrecer múltiples oportunidades para desplegar mecanismos de defensa basados en la red, como por ejemplo, los sistemas de detección de intrusiones en la red [31].

En relación a la tercera arquitectura mencionada en la Figura 4 (c), se tiene varias capas diferentes con relación a las previamente descritas como: la capa de composición de servicio la cual se trata de aplicaciones basadas en la arquitectura orientada a servicios (SOA) las cuales proporcionan muchas funcionalidades empleando servicios web [29]. La capa de gestión de servicios brinda la oportunidad a los programadores de aplicaciones de IoT de desarrollar e interactuar con objetos heterogéneos sin tener en cuenta una plataforma de hardware específica [21]. La capa de abstracción de objetos tiene como objetivo conectar los diferentes dispositivos, dentro esta se encuentran dos subcapas que son la interfaz y la capa de comunicación [29].

Finalmente, la cuarta arquitectura propuesta en la Figura 4 (d), es muy similar a la tercera (c), la única diferencia existentes entre ambas es la capa de negocios. Esta capa es la encargada de gestionar las actividades y servicios del sistema de IoT. Otra de las tareas de esta capa es construir un modelo de negocio, gráficos, diagramas de flujo, etc. Para realizar esta última tarea la capa se basa en los datos recibidos de la capa de aplicación.

Para finalizar es importante mencionar una arquitectura a la cual está tendiendo el desarrollo de IoT la cual es, la arquitectura orientada a recursos (ROA). En [32], se gestionan las comunicaciones con los dispositivos mediante uso de servicios RESTful, los cuales son accedidos mediante una interfaz de recurso uniforme (URI). Ésta sigue por tanto las mismas especificaciones de la arquitectura basada en servicios (Figura 3 (c)).

1.1.2.4 Internet de los servicios

Alonso, et al. [33] define un servicio web como “aplicaciones de negocio modulares y autónomas que constan de interfaces abiertas, orientadas a Internet y basadas en estándares”.

Los servicios web básicamente son las aplicaciones con las que se puede tener acceso por medio de Internet para satisfacer las necesidades del negocio, debido a que se consideran como independientes de la plataforma [34]. Los servicios web que operan sobre una infraestructura genera una API idónea que va a permitir a las aplicaciones desarrolladas por terceros utilizar los datos en ella [35].

Los servicios REST son los servicios más empleados en la actualidad para le desarrollo de sistemas distribuidos. El término transferencia de estado representativo (REST, por sus siglas en inglés). La arquitectura de tipo REST, es considerada de tipo cliente-servidor en la cual el cliente envía una solicitud al servidor y posteriormente este procesa la solicitud, para finalmente devolver las respuestas. Dichas solicitudes y respuestas se construyen en torno de la transferencia de representaciones de recursos. Un recurso es elemento al cual se identifica por medio de una URI. La representación de un recurso es particularmente un documento que obtiene el estado actual o supuesto de un recurso. La arquitectura REST está basado en el uso de sustantivos y verbos. El diseño de REST está fundamentado en los siguientes apartados: direccionalidad, sin estado e interfaz uniforme [36].

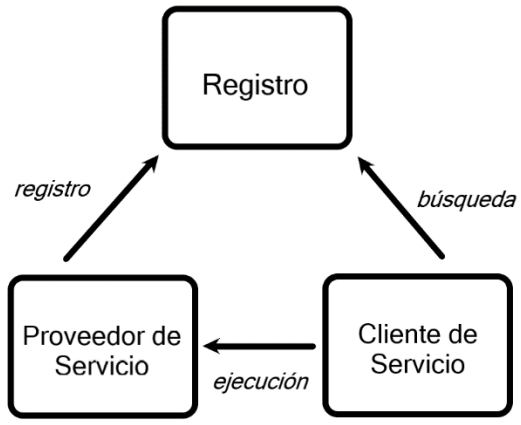


Figura 5.-Arquitectura de los servicios web [36].

Como último punto se puede mencionar que los servicios web del tipo REST, establece relación con el uso de la arquitectura API REST, la cual se brinda una API en la que se hace uso de los métodos HTTP que sirven para ejecutar todas las operaciones, las mismas que son: GET (Crear un recurso en el servidor), POST (Obtener un recurso en el servidor), PUT (Actualizar un recurso en el servidor) y DELETE (Eliminar un recurso en el servidor) [37].

1.1.2.5. Internet de las personas

Se puede concebir como IoP a todos los datos generados a partir de la interacción en las personas y los objetos conectados a través del internet, no obstante Uckelman, et al. [38] comenta que los *mash-ups* y las aplicaciones permitirán que las personas contribuyan al IoT con datos, presentación y funcionalidad. El contenido y los eventos del mundo físico generados por las cosas a partir de la identificación automática, los sensores, los actuadores o las redes en malla se agregarán y combinarán con la información de los mundos virtuales.

La definición de personas o usuario final ha sufrido cambios sustanciales en la última década. Sin embargo, existen algunos trabajos importantes dentro de la literatura científica afianzada respecto a los usuarios finales, que aún se mantienen y es ahí donde se ve al usuario final como alguien atraído en emplear dispositivos digitales sólo por su propio interés, mas no con la idea de transformarse en un experto en la tecnología como tal [39].

La idea fundamental del IoP se lo puede evidenciar en la Figura 6. En síntesis, lo que se puede observar en la Figura 6 es un entorno de red en el mismo que las personas tienen múltiples oportunidades de conectividad con otros usuarios en proximidad a través de redes auto organizadas, ya sea por intermedio del uso del Internet o dispositivos físicos a través de tecnologías de IoT (o alguna combinación de estas) [40].

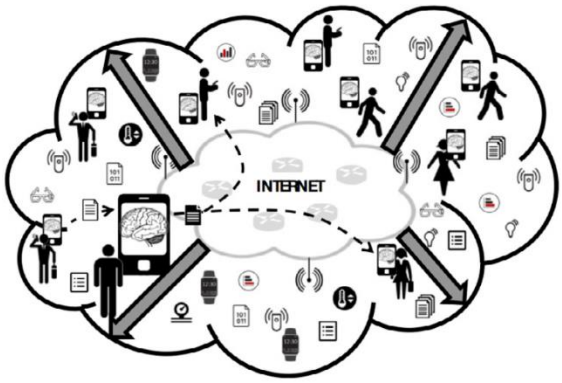


Figura 6.- Internet de las personas [40].

1.1.3. Interacción en ecosistemas de IoA

La interacción en ecosistemas de IoA tiene base en cómo se comunican los agentes en los SMA, gracias ello el IoA tiene la capacidad de autoadaptación del entorno y, multiplicidad

en la interacción. De esta manera es posible modelar ecosistemas autoadaptables cuando hay, cambios en el ancho de banda de la red, cambios en el entorno y cuando se presentan altas y dadas de bajas de agentes en el ecosistema [41].

1.1.3.1 Entidades participantes

Dentro de la estructura de un ecosistema de IoA existen varias entidades participantes que interoperan entre sí, los cuales son fundamentales para el correcto funcionamiento del ecosistema. Entre las principales entidades participantes, se encuentran aquellas que intervienen que se ejecutan en máquinas y aquellas entidades autónomas no digitales como es el caso de los usuarios. Así, se pueden considerar como entidades participantes de un ecosistema de IoA las siguientes: servicios, contenido/recursos, agentes software y agentes físicos, dispositivos/objetos/cosas, personas y destrezas. Todas estas entidades estudiadas por paradigmas emergentes como: Internet de los Servicios (IoS), Internet del Contenido (IoC), Internet de los Agentes (IoA), Internet de las Cosas (IoT), Internet de las Personas (IoP) e Internet de las Destrezas (*Internet of Skills*) [42].

1.1.3.2 Patrones de interacción

En un ecosistema de internet de los agentes, existe un proceso muy importante para el funcionamiento de este. Este proceso hace, referencia a la interacción que se debe dar entre las entidades heterogéneas del ecosistema, y es de ahí que se obtienen varios tipos de "patrones" de interacción.

Un, patrón de interacción entre dos o más entidades, puede ser definido como la acción donde varias entidades entablan un proceso de comunicación mediante un sistema de códigos previamente definido. Entre los patrones más comunes tenemos, el patrón humano-máquina, máquina-máquina y humano-humano.

Patrón humano – máquina

La interacción hombre-máquina (HMI, por sus siglas en inglés) se enfoca en cómo las máquinas tienen la capacidad hacerse cada vez más interactivas con el hombre y cómo esta

comunicación prepara el camino para un mejor rendimiento de un sistema (autómata, servicio, dispositivos) y una simplificación de actividades para el actor humano.

Para una colaboración eficaz entre un autómata y el hombre (Fig. 7), es vital que el autómata esté en la capacidad de comprender e interpretar múltiples procesos de comunicación parecidos a los mecanismos que intervienen en la interacción entre seres humanos [43].



Figura 7.- Modelo interacción humano-máquina.

Patrón máquina – máquina

La interacción máquina-máquina se enfoca en cómo las máquinas se entienden entre sí, y como esta comunicación es esencial para el correcto funcionamiento del sistema. Si esta comunicación falla el sistema puede presentar fallas en algún punto de algún proceso específico.

Por otra parte, Eastwood, et al. [44], afirma que en las operaciones máquina-máquina, la permutación de identidad aborda la problemática en el que una entidad está validada como otra entidad. Esta problemática únicamente puede observarse en una máquina basada en la identificación, es decir, cuando se emplean bases de datos. Un ejemplo de este tipo de patrón es ilustrado en la Figura 8. En dicha se muestra la forma dual en la cual se establece una interacción entre múltiples máquinas.



Figura 8.- Modelo de interacción máquina-máquina

Patrón humano-humano

Su objetivo principal es comprender el comportamiento humano utilizando métodos, técnicas y tecnologías de interacción y comunicación. Las cosas comunes, en términos de tiempo y frecuencia, en la dinámica humana de las actividades diarias, se consideraban generalmente aleatorios y, en consecuencia, muy difíciles de anticipar. Hasta hoy en día, el análisis de la dinámica humana se ha centrado en los registros que se recaban a partir de los servicios. Es aquí donde el IoT y las ciudades inteligentes ayudan a facilitar el acceso a nuevas fuentes de datos las cuales van a permitir obtener una nueva generación de resultados en la cuantificación y comprensión del comportamiento humano [45]. Para poder identificar de mejor manera la integración de este patrón con el IoT a través de dispositivos móviles, servicios, dispositivos vestibles (*wearables*), entre otros, se puede observar la Figura 9.



Figura 9.- Modelo de patrón de interacción humano-humano

1.2. Antecedentes

El desarrollo del IoA despierta mucho interés debido a los muchos campos de acción en los cuales se puede aplicar esta tecnología. Un ejemplo de ello es el desarrollo de una aplicación de un banco de pruebas en tiempo real para poder evaluar la interoperabilidad de sistemas multi agentes [46]. Para llevar a cabo las pruebas fue necesario instalar constantemente micro redes privadas, independientes de las empresas de servicios públicos. Para ello era necesario contar con marcos de interoperabilidad estandarizados para de esta manera establecer modelos de comportamiento de los agentes individuales. En este trabajo, Cintuglu, et al, propuso un marco integral de agentes híbridos que unía los fundamentos de los agentes físicos inteligentes (FIPA), IEC 61850 y las normas de servicio de distribución de datos (DDS). El middleware DDS fue seleccionado debido a que este permite implementar un mecanismo de interoperabilidad en tiempo real entre las plataformas. El marco multi agente propuesto fue validado en un banco de pruebas de laboratorio en el que se desarrollaron prototipos de dispositivos electrónicos inteligentes (IED) y configuraciones reales de micro redes [46].

Otro campo en el cual se puede evidenciar un gran apoyo por parte del IoA es en el de redes inteligentes (el cual inclusive fue utilizado en la investigación anteriormente mencionada), para lo cual se requiere el desarrollo y la aplicación de estrategias de control inteligente distribuidas que se basan en plataformas abiertas que proporcionen un alto nivel interoperabilidad. El control distribuido fue capaz de garantizar un funcionamiento fiable y seguro de los sistemas de alimentación de poder energético y así mejorar la calidad del suministro a los benefactores del sistema. Para ello se presentó el desarrollo de un sistema multi agente, el sistema de restauración automática (MARS, por sus siglas en inglés) aplicado a una red real de distribución de energía. Los agentes del MARS estaban integrados en un hardware externo a los dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs) y se comunicaban entre sí por medio de protocolos abiertos. Para realizar la evaluación de rendimiento del MARS, desarrollaron un simulador de computador escrito en Java que se encargó de representar el sistema de distribución [47].

Otra investigación aplicada a un campo más rutinario para todos los seres humanos fue enfocada en los parques automotrices, los cuales, en los últimos años está haciendo que el tráfico urbano se llene cada vez más de gente. Como consecuencia, el tráfico se ha convertido

en uno de los problemas más importantes en las grandes ciudades alrededor del mundo. Algunas de las principales problemáticas del tráfico son las congestiones y los accidentes que han producido una enorme pérdida de tiempo, daños a la propiedad y contaminación ambiental. En esta investigación se presentó un novedoso sistema inteligente para la administración del tráfico. El artículo proponía una arquitectura en la cual se integraba Internet de las cosas (IoT) con la tecnología de los agentes en una sola plataforma donde la tecnología de los agentes era la encargada de manejar la comunicación e interfaces de forma eficaz entre un gran número de dispositivos heterogéneos altamente distribuidos y descentralizados dentro del IoT [48].

1.3 Marco legal

En base a la Constitución que rige a la República del Ecuador se puede establecer los siguientes artículos, en los cuales se hace referencia a la presente investigación.

- **Art. 388.-** de la Constitución asegura que el Estado Ecuatoriano destinará los recursos necesarios para la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación y la formación científica.
- **Art. 25.-** de la Constitución del Ecuador asegura que las personas tienen derecho a gozar de los beneficios y aplicaciones del progreso científico y de los saberes ancestrales
- **Art. 350.-** de la Constitución del Ecuador manifiesta que “El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo”.
- **Art. 322.-** de la Constitución del Ecuador asegura que se reconoce la propiedad intelectual de acuerdo con las condiciones que señale la ley. Se prohíbe toda forma de apropiación de conocimientos colectivos, en el ámbito de las ciencias, tecnologías y saberes ancestrales.

- **Art. 142.-** del Código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación de la República del Ecuador dice que, se entiende por tecnologías libres al software de código abierto, los estándares abiertos, los contenidos y el hardware libre. Los tres primeros son considerados como tecnologías digitales libres.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación propuesta fue de tipo exploratoria y experimental. Se enmarcó como exploratoria debido a que fue necesario identificar los principales paradigmas relacionados con la implementación de ecosistemas de IoA. En este sentido, se analizó el estado de la temática de manera que se pudieron establecer las definiciones teóricas de los paradigmas de IoA, como fueron el IoT, IoS, IoC e IoP. Esto sirvió como base para determinar las principales unidades de procesamiento empleadas en cada uno de estos paradigmas, esto es, agentes, objetos de IoT, servicios y personas o usuarios. Asimismo, la investigación planteada fue también de tipo experimental ya que a partir de las bases teóricas analizadas se desarrollaron las entidades de tipo agentes, objetos de IoT, servicios y mecanismos de interacción de usuarios, se desarrolló una interfaz de comunicación común entre dichas entidades desarrolladas, y se los aplicó en un caso de estudio.

Por otro lado, la presente investigación fue de tipo cuantitativa-cualitativa (mixta) debido a que se emplearon y combinaron las características de cada una de ellas. En primer lugar, la investigación fue cualitativa ya que ayudó para comprender la importancia de los ecosistemas de IoA en la actualidad y la forma en que los paradigmas involucrados en IoA cooperan entre sí para el desarrollo de escenarios de IoT más autónomos, sociales, proactivos e inteligentes. En segundo lugar, la investigación fue de tipo cuantitativa ya que se analizó la eficiencia y eficacia de la interfaz de comunicación desarrollada para que las entidades involucradas en ecosistemas de IoA pudieran interactuar entre sí. Esto se lo realizó a través de la medición de métricas específicas sobre un sistema de evaluación sumativa desarrollado como caso de estudio.

2.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue de tipo experimental, debido que para la solución de los problemas de comunicación entre ecosistemas IoA, IoS, IoT e IoP, se desarrolló un entorno de reproducción de todas las actividades de comunicación que se realizan entre ecosistemas. Dentro de este entorno se hicieron múltiples pruebas que posibilitaron la determinación de

tiempos de respuesta, validar si el modelo de comunicación propuesto cumplía con cada una de las características establecidas y también permitió comprobar si la interfaz gráfica desarrollada otorgaba todas las características necesarias para que el usuario tenga una buena experiencia al momento de usarla.

2.3 Variables sujetas a investigación

Previo a diseñar una interfaz de comunicación uniforme que fuera compatible con las tecnologías manejadas por las entidades participantes en ecosistemas de IoA, IoT, IoS, IoP, se determinó un conjunto de 4 variables cualitativas y cuantitativas que permitieron determinar los aspectos a investigar. Además, por cada una de las variables se determinaron los correspondientes indicadores que permitieron describir o medir las variables en cuestión. Ambas, variables e indicadores, se listan en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales variables e indicadores sujetos a estudio.

Variables	Indicadores	Tipo de variable	Entidades
Calidad de comunicación	Mensajes enviados Mensajes recibidos Pérdida de mensajes	Cualitativa	• Servicios • Objetos de IoT • Agentes • Personas
Calidad de datos	Consistencia de datos Pérdida de datos Fiabilidad de los datos	Cualitativa	• Servicios • Objetos de IoT • Agentes • Personas
Rendimiento	Tiempo de respuesta Disponibilidad	Cuantitativa	• Personas, • Servicios • Agentes
Usabilidad	Efectividad Eficiencia Satisfacción	Cualitativa	• Servicios • Objetos de IoT • Agentes

Las descripciones de las variables listadas en la Tabla 1, así como sus correspondientes indicadores se describen como sigue:

- **Calidad de comunicación.** Nivel de calidad de las comunicaciones entre una entidad emisora y otra receptora de IoA.

    - **Mensajes enviados.** Número de mensajes enviados por parte de una entidad emisora de un ecosistema de IoA.
    - **Mensajes recibidos.** Número de mensajes recibidos por parte de una entidad receptora de IoA.
    - **Pérdida de mensajes.** Número de mensajes que se enviaron por parte de una entidad emisora de IoA y que no fueron recibidos por la entidad receptora.

- **Calidad de datos.** Consistencia de los datos transmitidos entre las entidades que intercambian información en ecosistemas de IoA.

    - **Consistencia de datos.** Es la solidez de los datos con los que interactúa una entidad de IoA.
    - **Pérdida de datos.** Es el número y/o porcentaje de datos que no llegan de manera correcta a una entidad de IoA cuando esta los solicita.
    - **Fiabilidad de datos.** Es la validez de los datos con los cuales interactúa una entidad de IoA.

- **Rendimiento.** Tiempo de respuesta de los procesos de comunicación entre una entidad emisora y una receptora de los ecosistemas de IoA.

    - **Tiempo de respuesta.** Es la cantidad de tiempo que se toma la interacción de una entidad emisora con una receptora.
    - **Disponibilidad.** Es la acción que permite a los datos estar siempre listos para atender los de requerimientos de una entidad.

- **Usabilidad.** Nivel de la calidad de experiencia de usuario al interactuar con las entidades de los ecosistemas de IoA.

    - **Efectividad.** Es el porcentaje de éxito que se obtiene al momento de interactuar con una entidad de IoA.
    - **Eficiencia.** Es la capacidad de que la interacción de una entidad de IoA se cumpla de manera exitosa.
    - **Satisfacción.** Es el cumplimiento de las expectativas planteadas sobre la interacción con una entidad de IoA.

2.3. Técnicas de investigación e instrumentos de recolección de datos

Debido a la naturaleza experimental y exploratoria de la investigación se consideró adecuado aplicar varias técnicas e instrumentos de recolección de datos, las cuales permitieron alcanzar los objetivos de la investigación de una mejor manera. Dichas técnicas fueron la entrevista y la observación científica.

La técnica de la entrevista se aplicó a profesionales de la educación con la finalidad de determinar el tipo de sistemas necesario para el desarrollo de la investigación además de orientar el tipo de variables necesarias para determinar un mejor análisis de los resultados. Para su aplicación, se empleó un cuestionario de entrevista (Anexo 1), el cual contó con 5 preguntas o apartados. El primero corresponde a los datos del entrevistado. Los cuatro siguientes fueron preguntas abiertas acerca de la percepción que tienen sobre los problemas académicos presentados por los estudiantes dentro del aula de clases. Este instrumento fue aplicado para la recolección de datos, sin embargo, los resultados obtenidos no fueron considerados en su totalidad para la construcción de la interfaz de usuario, debido a que la creación de una interfaz basada en la totalidad de la información demandaba más tiempo que el determinado para la elaboración de la investigación.

Otra de las técnicas de investigación aplicadas en la investigación fue la observación científica. Su aplicación se realizó con el objetivo de determinar el nivel de rendimiento obtenidos durante el desarrollo del experimento, en cual se enfocó en medir el rendimiento

académico de estudiantes a través del sistema de valuación sumativa desarrollado. Para su aplicación se empleó una ficha de observación detallada en el Anexo 2. En términos generales, la ficha de observación se constituyó de 3 apartados que tiene como finalidad recolectar los datos de cada una de las variables definidas en la Tabla 1, esto es, calidad de comunicación, calidad de datos, rendimiento y usabilidad. A través de la ficha se pudo describir los aspectos cualitativos; mientras que para las variables cuantitativas se aplicó una tercera técnica de investigación como es la experimentación.

Finalmente, la técnica de la experimentación se aplicó con el objetivo de medir cada uno de los indicadores asociados a cada una de las variables de mismo tipo, listados en la Tabla 1. Dichos indicadores se aplicaron a los distintos tipos de ecosistemas implementados, enfatizando principalmente en las comunicaciones entre las entidades participantes, esto es, agentes, servicios, objetos de IoT y personas. Para ello, se diseñó un experimento cuyo protocolo es detallado en el Anexo 3.

2.4. Tecnologías empleadas

Para la construcción del modelo de comunicación uniforme aplicable a ecosistemas de IoA se utilizaron herramientas tecnológicas especializadas en el dominio de agentes, servicios, IoT e interacción usuario-ordenador. A continuación, se describen brevemente dichas herramientas:

- **Marco de trabajo JADE.** Se empleó esta herramienta de desarrollo basado en agentes a fin de crear las entidades agentes que forman parte de los ecosistemas de IoA. Se empleó esta herramienta debido a que es un marco de trabajo que es de distribución libre de manera que cumple con la normativa legal respecto al uso de software libre. Además, es importante resaltar que JADE está orientado al desarrollo de sistemas multi agentes en Java y está basado en el estándar de comunicación propuesto por FIPA. Esto permitió el desarrollo de agentes inteligentes interoperables.

- **Marco de trabajo SPRING.** Se seleccionó esta herramienta de desarrollo basado en sistemas web con el propósito de crear los servicios web de tipo REST que hacen

parte de los ecosistemas de IoS. Se hizo uso de esta herramienta ya que es una plataforma desarrollada en código Java la cual permite crear código de alto rendimiento, ligero y adaptable. También permite consumir los datos en formato JSON, todas estas características permiten crear servicios estables y escalables según el proyecto, en este caso orientado al dominio educativo.

- **FaceAPI.js.** Se utilizó esta herramienta de desarrollo basado en la detección de rostros con la finalidad de crear una entidad que forma parte de los ecosistemas de IoT. Se empleó esta herramienta debido a que es marco de trabajo de código abierto el cual permite detectar y seguir rostros en tiempo real para lo cual es necesario tener una cámara web o cámara IP a la hora de ejecutar el sistema en el cual se usa.

- **Java.** Se empleó esta herramienta de desarrollo basado en programación web con el fin de crear una entidad que sirva para interactuar con el usuario lo cual es parte de los ecosistemas de IoP. Se utilizó esta herramienta ya que es un lenguaje de programación que concede el potencial de realizar complejas actividades en una interfaz gráfica lo que permite tener una mejor experiencia a la hora de interactuar con los elementos que se presentan en pantalla.

- **NetBeans.** Se empleó esta herramienta de desarrollo basado en programación de varios lenguajes debido a que era necesario contar con una herramienta que permita la construcción del código necesario para la implementación de las clases e interfaces de IoA.

- **Visual Studio Code.** Se seleccionó esta herramienta de desarrollo basado en el procesamiento de texto con el fin de construir el código necesario para la creación e implementación del sistema web a través del cual se realizan las interacciones con el IoP.

- **Eclipse.** Se hizo uso de esta herramienta de desarrollo basado en programación de múltiples lenguajes con el objetivo de codificar todas las instrucciones necesarias para la construcción e implementación de los servicios web necesarios para crear el ecosistema de IoS.

- **Apache Server.** Se empleó esta herramienta de desarrollo basado en el levantamiento de servicios web con la finalidad de desplegar los servicios web necesarios para el ecosistema de IoS. Esta herramienta es de código abierto e implementa el protocolo HTTP.

2.5. Normas éticas

La investigación es absolutamente original y personal. Para su desarrollo se siguieron las especificaciones del Reglamento de Grados de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas. Además, es importantes señalar que se respetó el derecho a la propiedad intelectual, con relación a las ideas de cada documento científico analizado, además me comprometo a hacer uso de los datos obtenidos durante el proceso de la mejor manera posible, además de conservar la completa fidelidad de toda información presentada aquí y proteger la privacidad de la información que se pudiera llegar a emplear en el transcurso del desarrollo e implementación del proyecto.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Interfaz de comunicación

Esta sección presenta los detalles en relación con las interfaces de comunicación desarrolladas para llevar a cabo la comunicación entre agentes, servicios, objetos de IoT y personas, de una forma uniforme. Los detalles incluyen aspectos sobre las interfaces y un ejemplo sobre cómo llevar a cabo un proceso de comunicación de tipo petición/respuesta de acuerdo con las entidades participantes, esto es, agente-objeto, objeto-servicio y agente-servicio.

3.1.1. Análisis de protocolos de comunicación

En la etapa de selección de los protocolos para la construcción de los patrones de interacción aplicables en ecosistemas de IoA, IoS, IoT e IoP, no solo se tuvo como principal característica la obtención de resultados; sino que también fue fundamental que sean de calidad y que demanden el menor tiempo posible en ser realizadas completamente, para de esta forma poder optimizar cada uno de los recursos tecnológicos disponible para el desarrollo de la investigación.

En la *Tabla 2* se enlistan cada uno de los protocolos de comunicación que se utilizaron para el desarrollo de los 3 patrones de interacción que intervienen en los sistemas de comunicación entre las entidades usadas en ecosistemas de IoA, IoS, IoP e IoT. Es importante señalar que en algunos casos específicos no se presentó la necesidad de emplear más de un único protocolo por patrón, gracias a las funcionalidades que brindan estas tecnologías.

Tabla 2.- Protocolos utilizados para creación de patrones

Patrones	Protocolos Utilizados		
	Servicio	**Objetos**	**Agentes**
Humano – Maquina		X	X
Máquina – Máquina	X		X
Humano – Humano		X	

3.1.2 Patrones de interacción en IoA

Al momento de definir los patrones de interacción que se utilizan para un sistema de comunicación aplicable en los paradigmas antes mencionados, se diseñaron los prototipos en base a los múltiples comportamientos que se encuentran presente en cada una de las entidades participantes: usuario, agentes, servicios, objetos. Para cada elemento se diseñó e implementó una interfaz con el fin de facilitar los procesos de comunicación entre ellos.

En el diseño del Patrón 1 (Humano-Máquina) ilustrado en la Figura 7, se sugiere a forma de aplicación la solicitud por parte del humano (usuario) a la máquina (agente, objeto, servicio) para realizar una tarea cualquiera, luego la máquina realiza una validación de la solicitud, si está validación es verdadera, se ejecuta la tarea solicitada; caso contrario se deniega la realización de la tarea. Un uso de este patrón se evidencia en un sistema de evaluación sumativa inteligente, cuando el humano solicita la inicialización del sistema, otro proceso donde se evidencia es cuando el usuario solicita al sistema la nota obtenida.

En el diseño del Patrón 2 (Máquina-Máquina) ilustrado en la Figura 8, se sugiere a forma de aplicación la solicitud por parte de una máquina (agente, objeto, servicio) a otra máquina (agente, objeto, servicio) para realizar una tarea determinada y su correspondiente validación de la solicitud de la tarea. Dentro de un sistema de evaluación sumativa automatizado, se aplica este patrón de varias formas, como el proceso donde el agente inicializa el sistema, una vez que la cámara valida que el sistema fue arrancado. Otro proceso donde se emplea este patrón en el mismo sistema sucede cuando un agente solicita todas las notas almacenadas al servicio y éste le devuelve la respuesta a su solicitud, a su vez el agente realiza una predicción basada en esta respuesta.

En el diseño del Patrón 3 (Humano-Humano) ilustrado en la Figura 9, se sugiere a forma de aplicación la solicitud por parte del humano (usuario) a otro humano (usuario) para realizar una tarea cualquiera, si el humano al que se le solicitó ejecutar la tarea está de acuerdo en realizarla, se ejecuta la tarea solicitada; caso contrario se cancela la realización de la tarea. En un sistema evaluación de sumativa, este patrón se evidencia únicamente cuando el usuario administrador, solicita al usuario estudiante abrir la aplicación con la que se da paso al sistema.

3.1.3 Interfaz de comunicación

Dentro del proceso de construcción e implementación de las interfaces de comunicación que intervienen en los ecosistemas de IoA se encuentran las siguientes interacciones: agente – objeto, objeto – servicio, agente – servicio. Las mismas que se han considerado como las más relevantes y se describen como sigue.

Agente-objeto de IoT

En primer lugar, se puede encontrar la comunicación que realizan los agentes con los objetos de IoT. En esta interfaz existen varios agentes que realizan diferentes peticiones a los objetos, los cuales realizan diversas tareas para poder cumplir la petición realizada por los agentes. Este proceso se ilustra en la Figura 10, dichas peticiones se las realiza por medio de un método creado para esta tarea en particular.

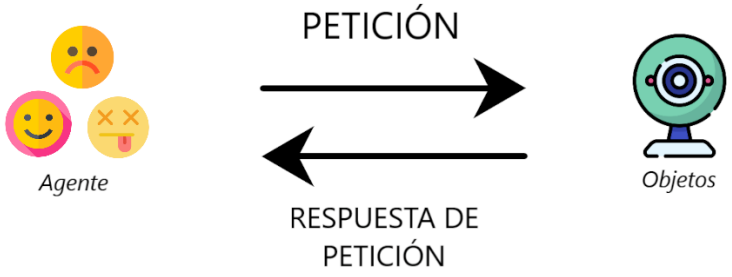


Figura 10.- Comunicación agente – objeto

El método creado denominado **btnComenzarClicked()** permite activar el funcionamiento de la cámara donde para evitar errores se lo realiza dentro de un bloque *try-catch*, hacia el interior de este se recibirá el estado de la cámara (*ON/OFF*) mediante la URI, donde si el estado retronado es *ON* se procede con el inicio del sistema, caso contrario se bloqueará, lo mismo sucederá si se produce algún error en el funcionamiento, tal y como se muestra en la Fig. 11. Un ejemplo práctico en el que un agente lleva a cabo un proceso de comunicación con un objeto de IoT es cuando se realiza una validación de rostro humano, en el momento de ejecutar el sistema que se pretende crear.

```
private void btnComenzarMouseClicked(java.awt.event.MouseEvent evt) {
    // TODO add your handling code here:
    this.nombre = txtApellidos.getText().toUpperCase() + " " + txtNombres.getText().toUpperCase();
    String args = "http://localhost:8080/images/cam/status/";
    //fdjfxx.start(stage);
    try {
        if (args.contains("ON")) {
            Application.launch(FaceDetectionJavaFXX.class, args);
        } else {
            block();
        }
    } catch (Throwable ex) {
        Logger.getLogger(VerificationAgent.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
        block();
    } finally {
        this.setVisible(false);
    }
```

Figura 11.- Código de interfaz de comunicación entre agente – objeto

Objetos y servicios

En segundo lugar, se puede evidenciar la comunicación que realiza los objetos con los servicios donde el objeto se encarga de enviar información al servicio por medio de una URI para que el servicio almacene esta información, y en caso de que dicha información sea necesario para otra entidad, ésta pueda acceder de manera ágil y efectiva a ella. Dicha interfaz de comunicación se muestra en la Figura 12.

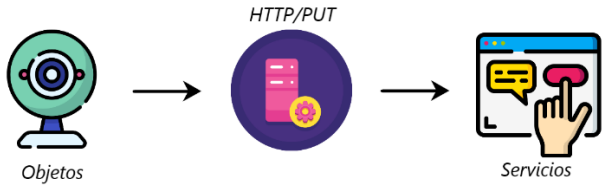


Figura 12.- Comunicación objetos – servicios

El método **saveImage()** es el que nos permitirá guardar las imágenes capturadas en una ubicación definida en la variable *file*, la cual es en sí una URI compuesta de la ruta base y el nombre con el que se almacena el cual se envía como parámetro además del tipo de extensión y/o imagen con la que se enviará al servicio tal y como se puede apreciar en la Figura 13. Un ejemplo en el cual se pone en práctica el código descrito anteriormente es en el momento de

realizar un envío de la imagen previamente validada de un rostro humano cuando se inicia la ejecución del sistema que se pretende construir.

```
public void saveImage() {
    // Configurando la ubicacion de la imagen para guardar
    String file = "http://localhost:8080/images/cam/" + Page_Inicio.nombre +".png";

    // Instanciadno las clase imagecodecs
    Imgcodecs imageCodecs = new Imgcodecs();
    // Guardando nuevamente
    imageCodecs.imwrite(file, matrix);
}
```

Figura 13.- Interfaz de comunicación entre objeto-servicio

Agente y servicios

Y en tercer lugar, se puede observar el proceso de comunicación que se lleva a cabo entre los agentes y los servicios de IoS para el cual es necesario que el agente envíe alguna petición al servicio, y éste se encargue de realizar los procesos necesario para poder satisfacer la petición realizada por el agente, para ello se emplea una URI, la cual cumplirá la función de transmitir los datos entre estas entidades, el agente al ser inteligente puede realizar cualquier tipo de petición soportada por el servicio, tal y como se ilustra en la Figura 14.



Figura 14.- Comunicación agentes – servicios

El método **setup()** es regido por el agente software CalificationAgent, el cual dentro de un *try-catch* inicializa la interfaz de las preguntas, mostrando las preguntas y respuestas traídas desde el servicio mediante la URI compuesta de la ruta de almacenamiento de las preguntas y del parámetro ID de la pregunta, luego de obtener todas las preguntas para el test, mediante

una confirmación por parte de una variable de tipo bandera, el agente estará revisando constantemente si el estudiante ya terminó el test para mostrar su calificación correspondiente a la prueba.

```
public void setup() {
    System.out.println("El Agente queda pendiente de la calificación del estudiante.");

    try {
        Page_Quiz pq = new Page_Quiz();

        Usuario_servicio us = new Usuario_servicio();
        List<Usuario> usuarios = us.recuperarTodasById("http://localhost:8080/preguntas/datos/{id_pregunta}");

        if (!pq.flag) {
            System.out.println("El estudiante no ha rendido la prueba todavía.");
            System.out.println(pq.flag);
            this.doDelete();
        } else {
            System.out.println("La nota del estudiante es: " + usuarios.get(0).getNota() + ".");

            //Creamos el mensaje CFP(Call For Proposal) cumplimentando sus parámetros
            ACLMessage mensajeCFP = new ACLMessage(ACLMessage.CFP);
            //Protocolo que vamos a utilizar
            mensajeCFP.setProtocol(FIPANames.InteractionProtocol.FIPA_CONTRACT_NET);

            //Indicamos el tiempo que esperaremos por las ofertas.
            mensajeCFP.setReplyByDate(new Date(System.currentTimeMillis() + 15000));
        }

    } catch (ClassNotFoundException ex) {
        Logger.getLogger(CalificationAgent.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }
}
```

Figura 15.- Interfaz de comunicación entre agente – servicio

3.2. Caso de estudio

Con la finalidad de emplear las interfaces antes descritas en un sistema real, se diseñó un sistema orientado a establecer el nivel académico de estudiantes en un escenario de prueba de conocimientos generales (evaluación sumativa); similar a la aplicada por la Senescyt a los estudiantes bachilleres del Ecuador, previo a su solicitud de acceso a la universidad pública.

3.2.1. Escenario

En varios campos como la industria, robótica educativa, tecnología educativa, turismo, comercio, entre otros, es posible implementar un ecosistema de IoA de manera eficiente; además de obtener un alto valor en cuanto a resultados referentes al rendimiento de los recursos que intervienen en el proceso de algunos de los campos mencionados anteriormente.

En el presente trabajo de investigación, se optó por probar las interfaces creadas en un entorno de educación, en el que intervienen ecosistemas de IoA, IoS, IoP, IoT. En el contexto de pruebas se estableció la participación de jóvenes que estaban cursando un nivel educativo básico – intermedio, los mismos que, a través de una interfaz gráfica de usuario (Figura 16), aplicaron un banco de preguntas a partir del cual se definió su correspondiente calificación; esto permitió predecir la tendencia del rendimiento académico de los estudiantes, pudiendo adaptarse a un contexto de clase, institución educativa, zona educativa, circuito y distrito educativo. A este sistema se le denominó EVACIN (Evaluación Académica Integrada).

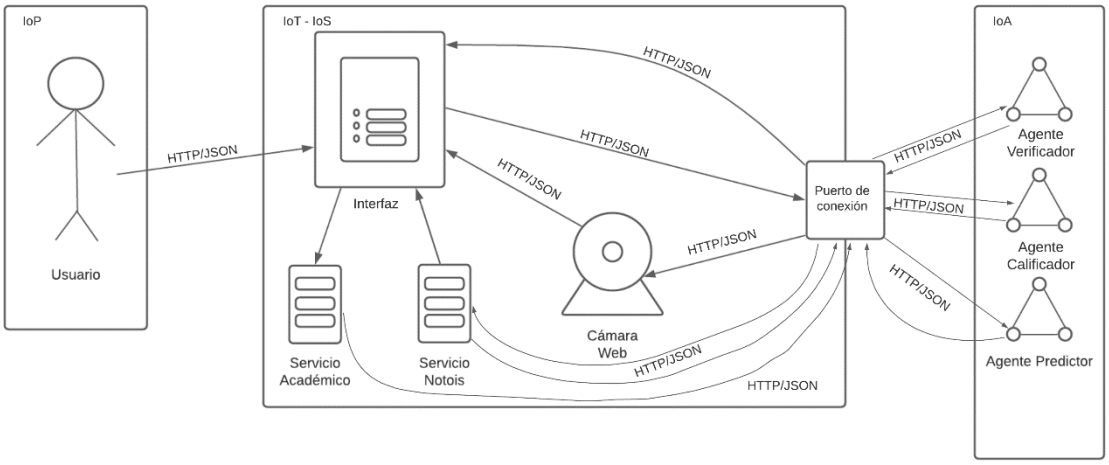


Figura 16.- Principales entidades participantes en el entorno de experimentación.

En la Figura 16, se muestra que los usuarios interactuaron con un ecosistema de servicios, un ecosistema de IoT y un ecosistema de agentes software. La interacción con el ecosistema de servicios se realizó para poder acceder y utilizar la información que se almacenaban dentro de estos. La interacción con el ecosistema de IoT fue llevada a cabo a fin de realizar métodos de validación para poder acceder a la realización de la prueba. Y la comunicación con el ecosistema de IoA se realizó para ejecutar múltiples tareas tales como validación, calificación y predicción. Se realizaron pruebas con ciertos recursos limitados ya que implementar todos los ecosistemas con muchas entidades es costoso, sobre todo en lo que se refiere al IoT. El desarrollo del sistema se hizo bajo los protocolos de comunicación HTTP (REST/JSON, Hyper Text Protocol, por sus siglas en inglés). Todas las comunicaciones se llevaron a cabo

mediante URIs como se muestra en la Figura 16. Esto le da la uniformidad en las comunicaciones que se buscaba con el trabajo. No obstante, en caso de escalar el sistema para integrar nuevas entidades, se puede usar el código fuente del sistema. Éste puede ser accedido de forma pública a través de un repositorio disponible en la siguiente dirección electrónica: https://bitbucket.org/pieropalacios95/quiz/src/master/.

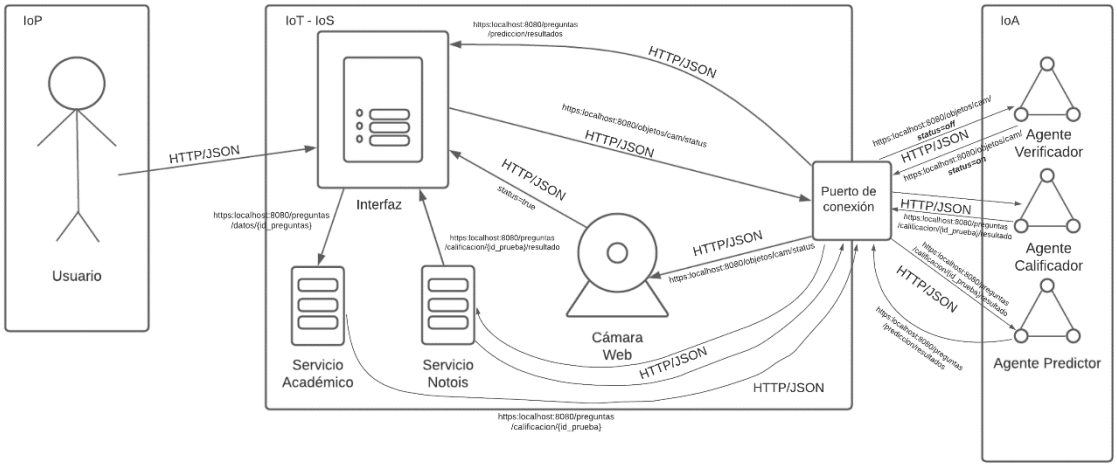


Figura 17.- Diagrama de comunicación entre entidades participantes

En la Figura 17, se puede evidenciar cada una de las interacciones realizadas en cada paso del proceso de comunicación que se ejecuta durante el funcionamiento del sistema, es así que se puede observar que la comunicación entre el usuario y el sistemas se empieza a través de una interfaz la cual envía mensajes por medio de uri para solicitar el permiso de arranque del mismo para ello el agente verificador comprueba y cambia en caso de ser necesario el estado de la cámara, con el fin de ejecutar la verificación. Una vez que se comprueba que esta sea verdadera se procede a solicitar cada una de las preguntas almacenadas en los servicios a través una uri que envía el id de la prueba y obtiene el banco de preguntas correspondientes, una vez finalizada se procede a enviar estos resultados por medio de una URI que lleva estos hacia el agente calificador para que este retorne el valor obtenido en la prueba, ya realizada esta acción los datos se almacenan en un servicio de notas al cual el agente predictor accede por medio de uri y realiza su proceso de predicción para que este es disponible a la hora de ser visualizado en la interfaz.

3.2.2. Requisitos funcionales

Como siguiente punto, se detalla cada una de las tareas, funciones y comportamientos que el sistema propuesto debe implementar. A continuación, se muestra una lista de requerimientos funcionales en los que se describen las principales acciones que los usuarios del ecosistema de IoP pueden llevar a cabo para usar el sistema, y consecuentemente, establecer interacción (comunicación) con los ecosistemas de IoT (objetos), IoS (servicios) e IoA (agentes). Previo a plantear los requerimientos funcionales del sistema ya descrito, se plantearon tres requerimientos técnicos: (i) las acciones que deben ejecutarse en el sistema deben ser implementados a través de servicios, (ii) los comportamientos inteligentes del sistema deben ser implementadas a través de agentes software, y finalmente, (iii) las condiciones del ambiente del escenario sujeto a estudio deben ser medidos por objetos de IoT.

a) El sistema debe enviar una señal de inicio de sesión a un agente verificador, a través de los servicios.
b) El sistema muestra un formulario de nombres para empezar la prueba la cual consta de 5 preguntas, para ello una vez ingresado el nombre se debe validar que sea un humano, dicha validación la realiza un agente validador el cual se encarga de comunicarse con los objetos para poder activar la cámara y ejecutar el método de detección de rostros.
c) El sistema emplea el objeto (cámara) para validar que el usuario sea una sola persona, de manera que se asegure la integridad académica por parte de los estudiantes. Una vez realizada la verificación, un agente se encarga de validar que el usuario aún no finalizado la prueba.
d) El sistema valida la finalización y compara con el estado actual del agente (es decir, si se encuentra en ejecución, en pausa o detenido), una vez se cumple la condición de finalización, el agente comunica la calificación obtenida por el usuario.
e) Para finalizar, el usuario puede ver los mejores resultados obtenidos por el sistema.
f) El sistema debe permitir dos tipos de usuarios con roles administrador y estudiante.

3.2.3. Funcionamiento del sistema

EVACIN contiene la implementación de agentes inteligentes, servicios y objetos de IoT necesarios para el desarrollo del sistema de comunicación, descritos previamente. El sistema

consta de 5 interfaces, la primera es la interfaz principal en la que se introduce el nombre del usuario, la segunda es la que carga todos los datos de las preguntas obtenidas a través de los servicios creados, la tercera interfaz es la que se visualiza al finalizar la prueba, y muestra los resultados de la prueba, la cuarta es la interfaz a través de la cual se puede evidenciar la proyección del nivel académico basado en las notas almacenadas, y por último, la quinta interfaz es la que permite al administrador del sistema realizar todas las operaciones necesarias para proveer de datos a los servicios. Dentro del sistema interactúan dos posibles usuarios, administrados del sistema y los estudiantes.

En lo relacionado a los estudiantes, después que el sistema empieza su funcionamiento, el usuario solicita determinadas acciones, las cuales el sistema está en capacidad de responder a dichas peticiones para las cuales es necesario que las otras entidades participantes mantengan comunicación entre ellas, ya que es necesario cumplir procesos puntuales que requieren de mencionada comunicación tales como, validación, obtención de estados (tanto de los agentes, como de la prueba) y visualización de la calificación obtenida, todo este proceso se lo puede observar representado en la Figura 18.

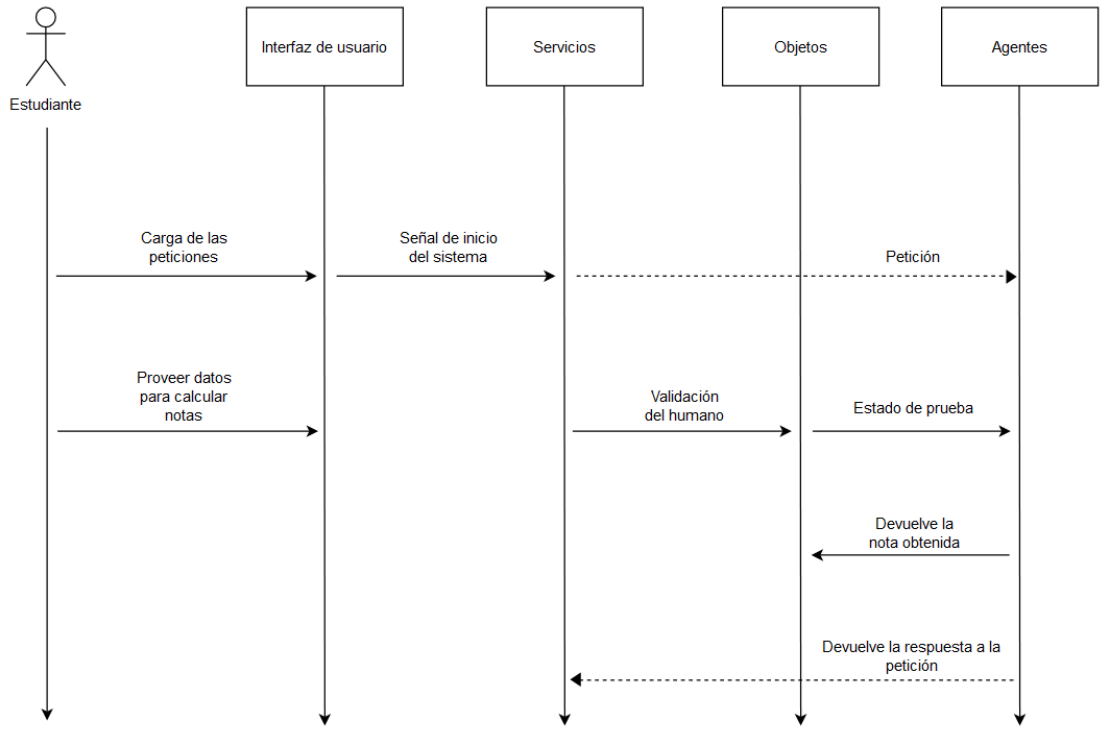


Figura 18.- Diagrama de secuencia de usuario estudiante

En lo que respecta al rol de administrador, después que el sistema empieza su funcionamiento, el usuario realiza peticiones puntuales, las cuales el sistema debe de ser capaz de responder a éstas, todo mediante la comunicación y participación de las diferentes entidades, debido a que se debe de cumplir con los procesos puntuales que requieren de mencionada comunicación tales como, validación, gestión de datos y proyección de las preguntas almacenadas, todo este proceso se lo puede observar representado en la Figura 19.

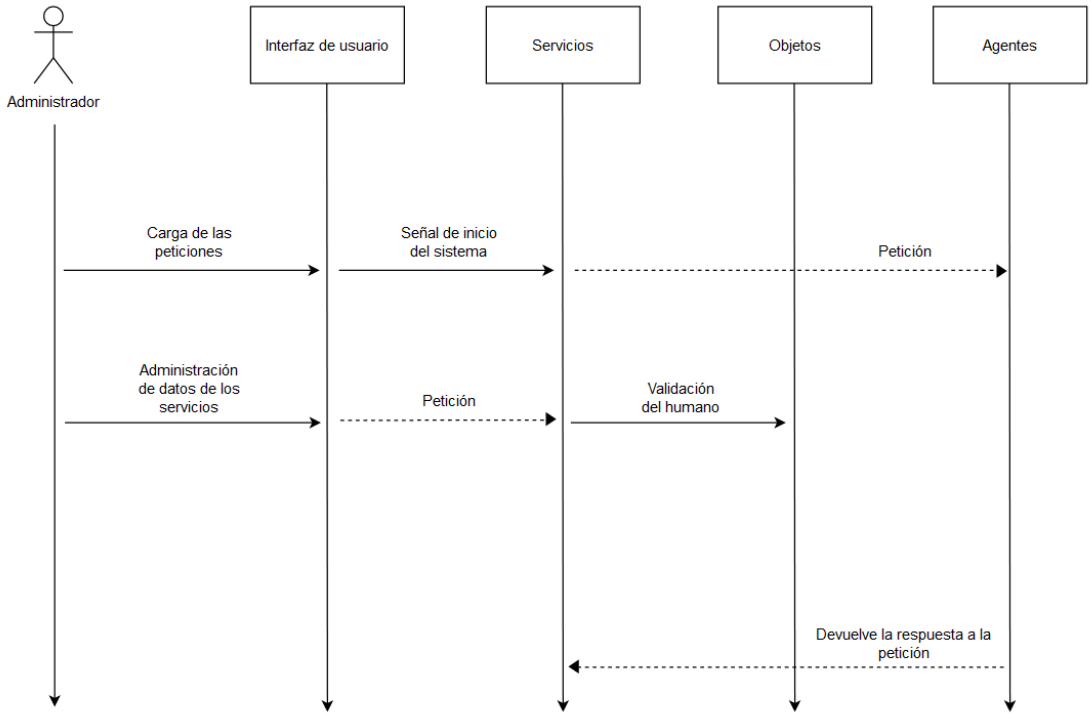


Figura 19.- Diagrama de secuencia de usuario administrador

Para la implementación de las entidades pertenecientes al proceso de comunicación con ecosistemas de IoA, se consideró necesario la búsqueda de procedimientos que se ajustaran lo mejor posible a los requerimientos del sistema y a su vez contará con la capacidad de realizar una eficiente comunicación entre los diferentes actores que intervienen en el proceso de evaluación de nivel académico.

En el caso de la creación de nuevas preguntas para aumentar la cantidad de datos almacenadas en los servicios, se presenta un formulario (dicho formulario lo encontramos

ilustrado en la Figura 20) a través del cual el administrador del sistema puede realizar todas las operaciones para la administración de los datos almacenados.

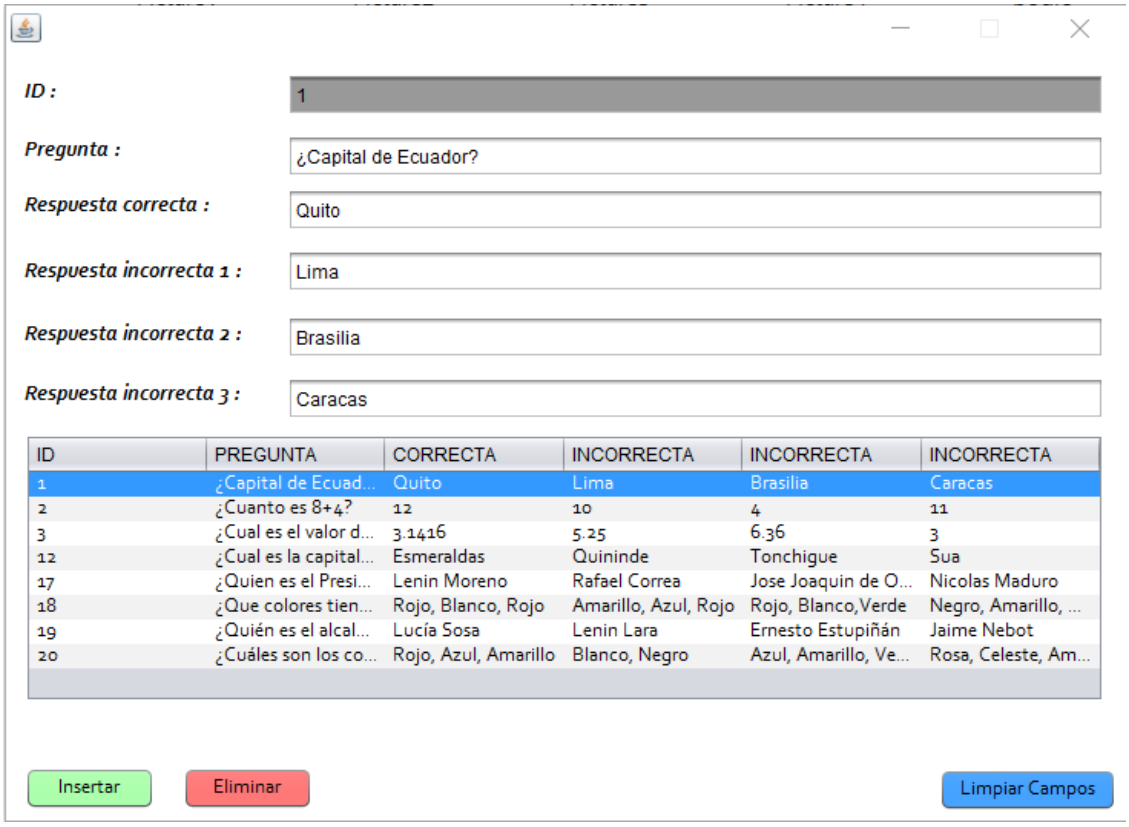


Figura 20.- Interfaz para realizar gestión de datos con el servicio

Para el uso del sistema por parte del usuario es necesario realizar una validación de inicialización por parte de un agente, y una vez realizado este proceso es necesario conocer el nombre del usuario (como se evidencia en la Figura 21 (a)), una vez realizado esto se procede a validar que es un humano el que está realizando el proceso de evaluación para ello es necesario tomar una fotografía (como se puede apreciar en la Figura 21 (b)) previo al arranque del proceso de preguntas. En el caso de que la validación sea afirmativa se da paso al proceso de preguntas y respuestas obtenidas desde los servicios (tal y como se aprecia en la Figura 21 (c)).

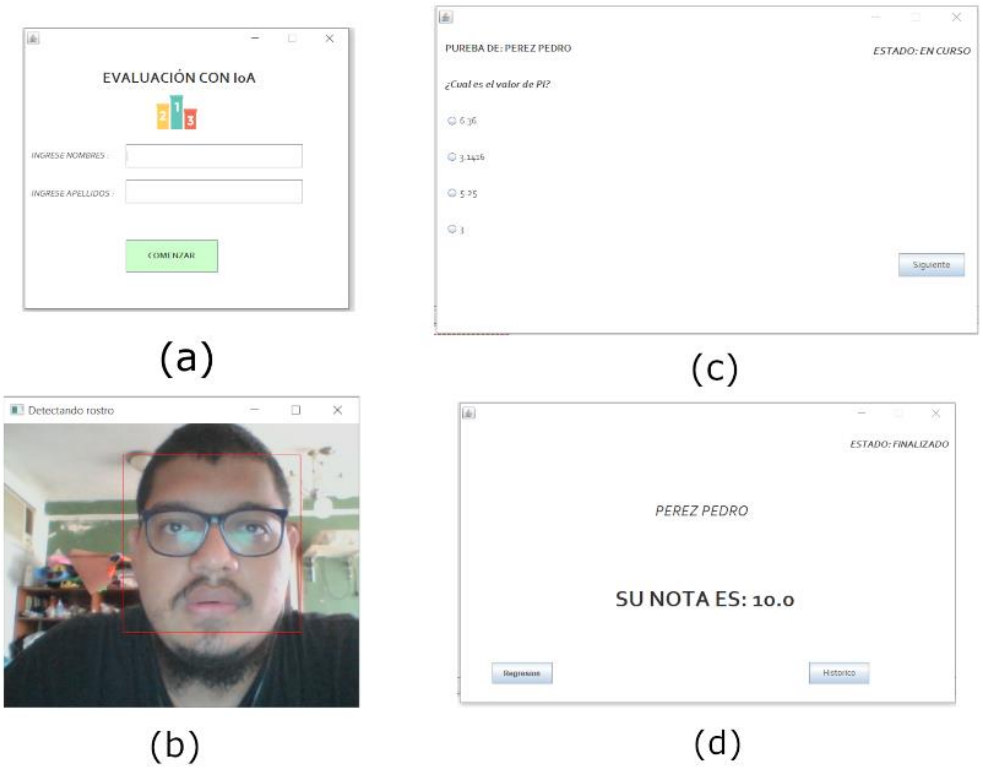


Figura 21.- Formulario de ingreso de nombres. (a) Detección de rostro con cámara. (b) Pantalla de cuestionario. (c) Pantalla de visualización de nota obtenida. (d)

En el caso de haber finalizado todo el proceso por parte de usuario, se procede a enviar toda la información al agente de calificación para que realice su tarea y tenga esta información lista para la correcta visualización al usuario (tal y como se aprecia en la Figura 21 (d)). Por otro lado, el otro agente que tiene una tarea específica y de alto valor es el agente predictor, que como su nombre lo indica se encarga de realizar el proceso de obtención de la tendencia que existe con las notas almacenadas en el servicio para así tratar de predecir si el nivel académico tiende a subir o bajar base a los datos procesados. Y una vez realizado este proceso envía los datos para ser visualizados en una gráfica (como se evidencia en la Figura 22).

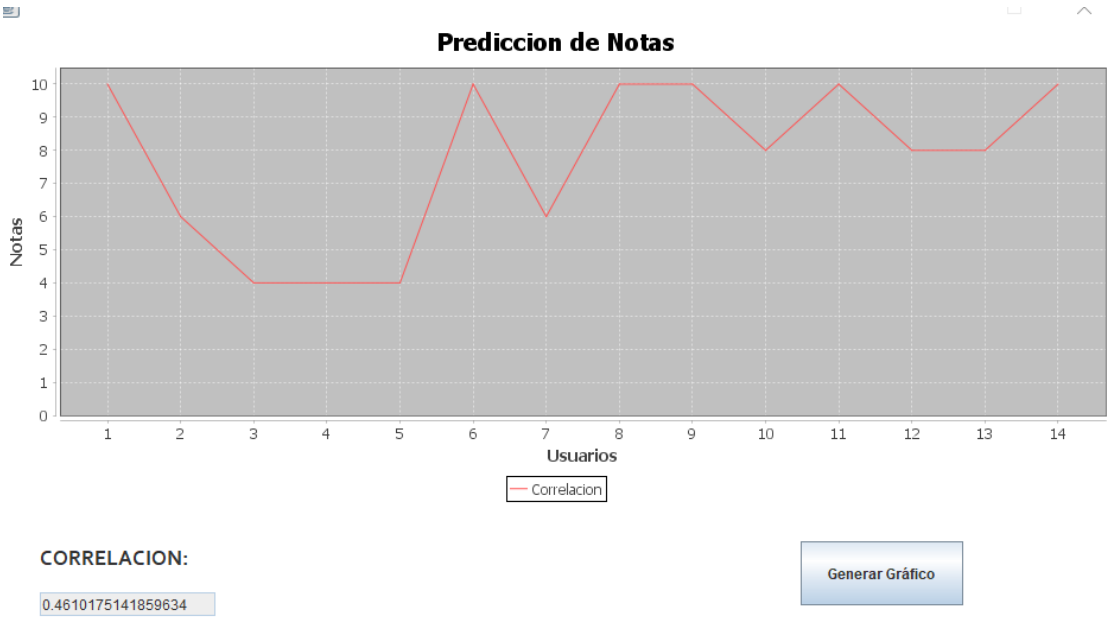


Figura 22.- Grafica de predicción de notas

4.3 Evaluación del sistema

Para la evaluación correspondiente a cada una de las variables con las cuales era necesario de cumplir en el sistema EVACIN, fue fundamental el empleo de varios métodos que permitieran evidenciar el correcto funcionamiento y eficiencia del sistema, de tal forma que quedase listo para la subsiguiente implementación de éste al momento de realizar las pruebas de funcionamiento. Es clave destacar que el sistema es un prototipo que cuenta con la capacidad para ser usado a futuro en futuros trabajos de investigación, aplicando el modelo en otros dominios. No obstante, este pudo ser evaluado por medio del método experimental, a través de un procedimiento que se realizó con respecto a los procesos del sistema desarrollado, los cuales brindan la posibilidad de trabajar con datos reales con relación a lo que respecta a cada uno de los procesos involucrados en la comunicación entre todas las entidades participantes, esto es, usuarios, servicios, objetos y agentes inteligentes.

4.4 Análisis de las variables de la calidad del software

Las variables seleccionadas y empleadas para el proceso de evaluación del sistema propuesto en este trabajo de investigación fueron escogidas de tal forma que en conjunto permitiesen

realizar un análisis general del desenvolvimiento de todas las funcionalidades que hacen parte del sistema. El tiempo de respuesta de un sistema informático es fundamental al momento de medir tanto su eficiencia como la calidad, es por esta razón que la prueba del rendimiento del sistema es una parte vital de este proyecto. Adicionalmente, era importante medir la usabilidad, la cual es fundamental puesto que nos permite determinar si el sistema proporciona las suficientes facilidades para que el usuario pueda ejecutar las funciones para las que fue creado. La evaluación de los aspectos mencionados anteriormente, son descritos en los siguientes apartados.

4.4.1 Evaluación de calidad de datos

La calidad de datos fue una de las variables que se consideró como muy importante a la hora de definir la evaluación del sistema. Dicha variable se evaluó mediante la verificación de los datos almacenados por los servicios, lo cual permitió determinar el nivel de la calidad basándose en el peso que conlleva la interacción con ellos, para mencionado proceso se aplicó la siguiente fórmula:

$$TA = CE * CA * TR$$

Donde, TA representa el tamaño agregado, CE representa el número de personas que han realizado la prueba, CA está dada por la cantidad de preguntas hechas al estudiante, y TR representa el tamaño del valor de redundancia agregado, el valor se encuentra asociado al método que se emplee [49].

Luego de aplicar la fórmula previamente descrita con los datos de las pruebas empleadas por cada uno de los servicios que intervienen en el sistema, el resultado alcanzado para dicha métrica fue el siguiente:

$$TA = 15 * 8 * 16000\ bits = 0.24\text{Mb}$$

Dicho resultado evidencia que el buffer que se emplea a la hora de realizar la transmisión de los datos entre las varias entidades participantes es bajo, por lo consecuente se puede determinar que la calidad de la transmisión de los datos es muy buena.

4.4.2 Evaluación de rendimiento

El rendimiento fue una de las variables que se analizó al momento de realizar la evaluación del sistema, puesto que posibilita la comprobación de la eficiencia de cada proceso que interviene en el sistema en base al tiempo empleado en la ejecución de cada uno de éstos. La evaluación de dicha variable se ejecutó un total de 5 veces, empleando a cada una de las entidades que intervienen en un sistema de comunicación con IoA, para dicho proceso se aplicó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{S}{(1 - U)}$$

Donde R=tiempo de respuesta, S=tiempo del servicio, y U=carga [50]. De esta manera, como se grafica en la Figura 23, se pudieron establecer los tiempos de respuesta del sistema, lo cual evidencia la rapidez de contestación del sistema a la hora de ser puesto a prueba en el ambiente experimental preparado donde se aplicó cada una de las características que determinan al sistema previamente propuesto.

Tabla 3.- Tiempo de respuesta por entidades

	Prueba 1	**Prueba 2**	**Prueba 3**	**Prueba 4**	**Prueba 5**
Servicios	77.79	28.57	30.2	48.97	26.61
Objetos	75.22	25.63	27.6	46.89	25.78
Agentes	70.23	27.81	25.7	44.33	28.69

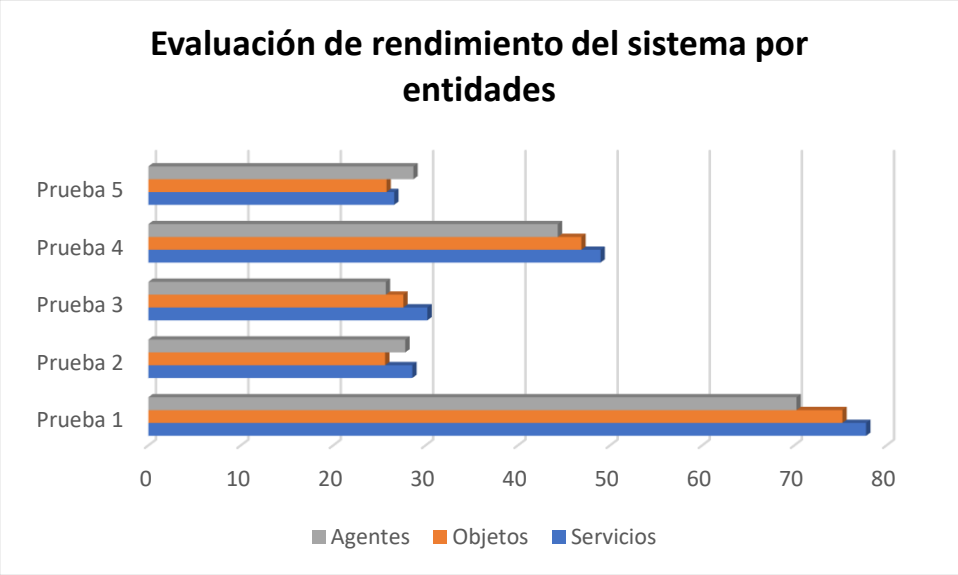


Figura 23.- Rendimiento del sistema

4.4.3 Evaluación de usabilidad

Dentro de todo el proceso de diseño, desarrollo e implementación del sistema el usuario fue quien tuvo la facultad de determinar si el sistema se encontraba terminado o no, en caso de no ser así se debían ejecutar los ajustes necesarios para una posterior implementación dentro del sistema. Por consiguiente, fue primordial efectuar las pruebas de usabilidad para establecer las mejoras que se debían implementar, a más de medir la eficiencia y facilidades que proporcionaba el sistema al usuario.

Para evaluar la usabilidad del sistema fue importante considerar dos aspectos principales: efectividad y eficiencia. Para llevar a cabo el cálculo de cada aspecto, se determinaron 8 tarea básicas del sistema:

- T1: Realizar las peticiones almacenadas en los servicios.
- T2: Interacción con los datos mediante una petición realizada a los servicios.
- T3: Detección de rostro mediante uso de cámara.
- T4: Almacenamiento de validación de rostro.
- T5: Calificación de prueba obtenida.
- T6: Visualización del resultado histórico.
- T7: Visualización de tendencia de nivel académico
- T8: Salida del sistema

En relación con la **efectividad,** esta ponderación se calculó a través del uso de la fórmula que se presenta a continuación:

$$Efectividad = \frac{número\ de\ tareas\ completadas\ con\ éxito}{número\ de\ tareas\ realizadas} * 100\%$$

Una vez realizada la evaluación de las 8 tareas anteriormente descritas (T1 – T8) se alcanzaron los siguientes resultados manifestados en la Figura 24. La efectividad en

cada uno de los procesos fue mayor a un 85%, lo que evidencia que el sistema obedece a cabalidad con este apartado fundamental dentro de la usabilidad.

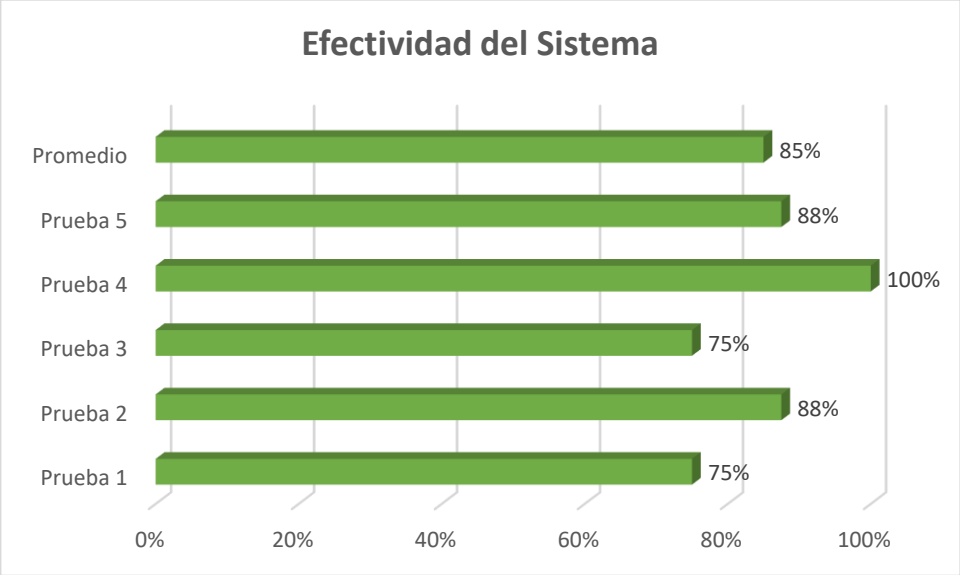


Figura 24.- Efectividad del sistema

Por otro lado, en lo que a **eficiencia** del sistema respecta, dicha métrica de usabilidad fue estimada a partir de la siguiente fórmula:

$$Eficiencia = \frac{\sum_{j=1}^{R} \sum_{i=1}^{N} \frac{n_{ij}}{t_{ij}}}{NR}$$

Dónde, N= número total de tareas, R= el resultado de los usuarios, nij= el resultado de la tarea i por el usuario j; si el usuario finaliza la tarea con aceptación nij=1, en caso de ser diferente nij=0, tij= el tiempo utilizado por el usuario j para concluir la tarea i. Si dicha tarea no se concluye de manera exitosa, por lo tanto, se mide el tiempo hasta el instante en el que el usuario suspende la tarea [51].

Una vez ejecutada esta fórmula con los datos de las pruebas ejecutadas por cada tarea (T1 – T0), se pudo obtener el resultado presentado a continuación:

$$Eficiencia = \frac{\frac{6}{24.48}+\frac{6.4}{18.63}+\frac{6}{18.12}+\frac{8}{15.56}+\frac{6.4}{22.86}}{8\ x\ 5} = 0.04 \text{ tareas/s}$$

Como se puede apreciar en el resultado presentado, se puede determinar que el sistema consta con una alta eficiencia ya que en promedio de tiempo requerido para ejecutar las tareas es menor a un segundo para cada una de estas que se ejecute.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Dentro de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se puede observar el análisis, diseño, construcción e implementación de los principales patrones de interacción y comunicación dentro de un sistema de IoA. El actual modelo de comunicación propuesto para establecer interacción entre las entidades participantes de IoA cumple los requerimientos necesarios para ser utilizado en proyectos que implementen el IoA independientemente del dominio de aplicación, esto es, educación, salud, industria, entre otros. Se ha demostrado en este trabajo su aplicabilidad exitosa en el dominio de educación.

El modelo de comunicación establecido demostró un resultado de alto nivel en cuánto al tiempo de respuesta que existe a la hora de interactuar entre los distintos ecosistemas establecidos en el presente trabajo, lo cual denota la alta efectividad de éste a la hora de adaptarse a los distintos escenarios a los cuáles se puede ver enfrentado, todo esto fue en gran medida gracias a las tecnologías y protocolos establecidos a la hora de diseñar y construir las interfaces del modelo de comunicación propuesto. En concordancia con los resultados de la evaluación ejecutada a los parámetros calidad de datos, rendimiento y usabilidad del sistema.

En el caso del rendimiento fue necesario obtener con anterioridad valores como, el tiempo que demoraba el sistema en responder cuando se le solicitaba una tarea y el tiempo de interacción que existía a la hora de realizar una comunicación entre varias entidades (i.e., servicios, objetos y agentes). De esa manera se realizó varias veces el mismo cálculo, obteniendo el tiempo promedio por cada uno de los ecosistemas, los cuales arrojaron como resultado, un tiempo promedio en el que los servicios tardaban 26.61 s en responder, los objetos 25.78 s y los agentes 28.69 s en responder, demostrando así la eficiencia en la respuesta del sistema. Estos resultados son perfectibles, ya que optimizando los recursos computacionales como tiempo de proceso y memoria pueden obtener un mejor rendimiento al demostrado en el estudio. Además, a través de la optimización del ecosistema tecnológico, es posible soportar un mayor número de peticiones entre las entidades participantes de un ecosistema de IoA.

En lo referente al caso de la calidad de los datos del sistema de evaluación sumativa fue necesario contar con los valores como, el número de preguntas planteadas al usuario (estudiante), el número de usuarios que hicieron la prueba y el tamaño de los datos

almacenados. De esta forma se realizó el cálculo, obteniendo como resultado una valor de 0.24MB que corresponde al buffer y/o tamaño que se emplea a la hora de realizar solicitudes a los servicios, quedando así demostrado que la calidad de los datos con lo que se cuenta en el sistema es muy alto, sin embargo esto podría mejorar si se contara con una optimización de recursos (servidor, *framework* de desarrollo) mayor permitiendo así aumentar de manera significativa la calidad de los datos.

En relación, a la usabilidad que es el último parámetro evaluado en este trabajo, se fundamentó en el número de tareas finalizadas con éxito por parte de los usuarios, y el número de tareas realizadas en total. Para el cálculo de este parámetro se ejecutó un total de 5 pruebas en el sistema, devolviendo un alto porcentaje de efectividad (mayor que 85%) y una eficiencia (0,04 tareas/s). De esta manera queda evidenciado las facilidades que da el sistema al usuario que interacciona con él. Debido a que el sistema propuesto consta de un número reducido de tareas (8 tareas), se obtuvo un porcentaje bastante aceptable. Sin embargo, esta métrica está directamente relacionadas con el número de tareas que implementa el sistema; esto significa que en sistema de mayor complejidad estos resultados pueden variar. Por ello, se debe calcular esta métrica según como vaya escalando el sistema.

El estudio propuesto ha buscado implementar una interfaz de comunicación para que entidades de IoA puedan interactuar de una manera uniforme. En esta misma línea, pocos trabajos han sido propuestos. Un primero estudio se ha enfoca en el desarrollo de una interfaz uniforme para comunicar entidades de tipo agente [REF]. Dicha interfaz puede ser utilizada para establecer comunicación en sistemas de IoA, no obstante, no ha sido probada con otros tipos de ecosistemas (i.e., IoT, IoS) como se propone en este estudio. Otro estudio, propuesto en [4], presenta cómo comunicar agentes y vehículos autónomos para evitar el alto nivel de tráfico dentro de las ciudades. Para el desarrollo de su investigación también usó del IoA para la gestión de la comunicación entre objetos (vehículos). Al comparar este proyecto con el propuesto se pudo demostrar que la base de tiempo contemplada en el momento de hacer este par de investigaciones fue un factor muy importante al momento de analizar los resultados. Es importante recalcar que el presente trabajo consta de un gran potencial de mejora, debido que los resultados obtenidos en el limitado periodo que duró este proyecto son considerados satisfactorios. En disimilitud a otros proyectos que con contaban con características parecidas al presente trabajo, éste se efectuó en un tiempo mucho más escaso y con recursos reducidos

de los que comúnmente se emplean, sin embargo, dicho factor no afectó la calidad final del sistema.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez culminadas cada una de las fases necesarias para alcanzar el objetivo de la presente investigación se pudieron establecer las siguientes conclusiones:

- El modelo de comunicación propuesto permite agilizar y/o brindar mayor eficiencia a la hora de realizar interacciones entre entidades de tipo objetos de Internet de las Cosas (IoT), servicios, agentes y personas. Gracias a la interfaz propuesta se puedo abstraer la comunicación entre las entidades de IoA.
- Los protocolos de comunicación utilizados dentro del modelo propuesto dieron una mayor estabilidad, seguridad y facilidad a la hora de ser implementado debido a que son estándares internacionales. Este es el caso de HTTPS, protocolo que se empleó para establecer las comunicaciones entre las entidades participantes en el ecosistema de Internet de las Cosas, Internet de los Servicios e Internet de las Personas. Asimismo, el uso del estándar FIPA permitió el establecimiento de comunicaciones entre agentes en IoA.
- Cada una de las tecnologías seleccionadas para la construcción del modelo de comunicación propuesto permitieron implementar de manera exitosa las entidades participantes en el ecosistema de IoA desarrollado. En el caso del IoT, se empleó a través de una cámara. En el caso de los servicios, el marco de trabajo Spring permitió crear los servicios RESTful. Asimismo, en el caso de los agentes software, JADE permitió la creación de agentes inteligentes. Finalmente, en el caso de las personas, la herramienta JavaScript permitió desarrollar una interfaz dinámica a través de las cuales los usuarios (estudiantes) pueden interactuar con las entidades de IoA.
- La realización de las pruebas del modelo de comunicación enmarcado en el campo educativo contribuyó a generar ideas innovadoras que pueden ayudar al mejoramiento del nivel de instrucción académica de la ciudad y/o provincia. Además, la combinación de entidades como: objetos, servicios, agentes virtuales y personas, ha permitido la creación de ecosistemas educativos inteligentes que motivan el aprendizaje de los estudiantes.

Por otro lado, partiendo de la experiencia adquirida durante el desarrollo del presente trabajo investigativo, se proponen las siguientes recomendaciones de mejora que podrían ser consideradas para mejorar la propuesta desarrollada a futuro:

- Aprovechar de las tecnologías de impresión 3D y los microcontroladores de bajo costo como Arduino, para la creación de nuevos objetos de IoT que permitan crear ecosistemas de IoT inteligentes y colaborativos, a través de las entidades desarrolladas en esta investigación, esto es, servicios, agentes y mecanismos de interacción humano-ordenador.
- Realizar pruebas del modelo propuesto con estudiantes de varias instituciones educativas para apoyar su aprendizaje mediante las entidades de IoA. También crear nuevos servicios, agentes y objetos de IoT especializados en implementar estrategias de aprendizaje virtual que sirvan de apoyo a la formación de estudiantes de educación básica y media desde su hogar. Asimismo, se recomienda desarrollar ecosistemas de IoA para niños y adolescentes con capacidades especiales, de tal manera que se apoye a su aprendizaje de manera personalizada.
- Investigar y desarrollar nuevas entidades dentro del marco de cualquiera de los ecosistemas presentados en la investigación con el fin de determinar la eficiencia de los procesos de comunicación factibles en IoA, y específicamente, aplicado en entornos educativos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] P. Pico-Valencia and J. A. Holgado-Terriza, “Agentification of the Internet of Things: A systematic literature review,” *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 14, no. 10, 2018, doi: 10.1177/1550147718805945.

[2] A. van Deursen and J. van Dijk, “Internet skills and the digital divide,” *New Media Soc.*, vol. 13, no. 6, pp. 893–911, 2011, doi: 10.1177/1461444810386774.

[3] P. Pico-Valencia, J. A. Holgado-Terriza, and P. Paderewski, “A systematic method for building Internet of Agents applications based on the Linked Open Data approach,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 94, pp. 250–271, 2019, doi: 10.1016/j.future.2018.11.042.

[4] K. H. N. Bui and J. J. Jung, “Internet of agents framework for connected vehicles: A case study on distributed traffic control system,” *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 116, pp. 89–95, 2018, doi: 10.1016/j.jpdc.2017.10.019.

[5] R.-C. Mihailescu, R. Spalazzese, C. Heyer, and P. Davidsson, “A Role-Based Approach for Orchestrating Emergent Configurations in the Internet of Things,” 2018, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1809.09870.

[6] Y. Rizk, M. Awad, and E. W. Tunstel, “Decision Making in Multiagent Systems: A Survey,” *IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 514–529, 2018, doi: 10.1109/TCDS.2018.2840971.

[7] A. Dorri, S. S. Kanhere, and R. Jurdak, “Multi-Agent Systems: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 28573–28593, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2831228.

[8] P. Schönsleben and P. Schönsleben, *Logistics, Operations, and Supply Chain Management*. Springer International Publishing, 2019.

[9] K. On Chin, K. S. Gan, R. Alfred, P. Anthony, and D. Lukose, “Agent Architecture: An Overview,” *Trans. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 18–35, 2014.

[10] F. Meneguzzi and L. De Silva, “Planning in BDI agents: A survey of the integration of planning algorithms and agent reasoning,” *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 30, no. 1, pp. 1–44, 2013, doi: 10.1017/S0269888913000337.

[11] A. Pokahr, L. Braubach, and W. Lamersdorf, “Jadex: A BDI Reasoning Engine,” pp. 149–174, 2005, doi: 10.1007/0-387-26350-0_6.

[12] F. Bellifemine, V. G. R. Romoli, G. Rimassa, and A. Poggi, “JADE – A FIPA-compliant agent framework.”

[13] F. Bellifemine, G. Caire, A. Poggi, and G. Rimassa, “JADE: A software framework for developing multi-agent applications. Lessons learned,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 50, no. 1–2, pp. 10–21, 2008, doi: 10.1016/j.infsof.2007.10.008.

[14] E. Escobar Gallardo and A. Villazón, “Sistema De Monitoreo Energético Y Control Domótico Basado En Tecnología ‘Internet De Las Cosas,’” *Investig. Desarro.*, vol.

18, no. 1, pp. 103–116, 2018, doi: 10.23881/idupbo.018.1-8i.

[15] L. Mainetti, L. Patrono, A. Secco, and I. Sergi, “An IoT-aware AAL system for elderly people,” *2016 Int. Multidiscip. Conf. Comput. Energy Sci. Split. 2016*, 2016, doi: 10.1109/SpliTech.2016.7555929.

[16] J. P. Casas Rodriguez and L. E. Aparacio Pico, “Un análisis del autismo desde la perspectiva de su influencia en familias y la tecnología como facilitador en el manejo de esta condición,” *Rev. Logos Cienc. Tecnol.*, vol. 8, no. 1, 2016, doi: 10.22335/rlct.v8i1.301.

[17] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Comput. Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.

[18] J. Hou, L. Qu, and W. Shi, “A survey on internet of things security from data perspectives,” *Comput. Networks*, vol. 148, pp. 295–306, 2019, doi: 10.1016/j.comnet.2018.11.026.

[19] K. A. P. da Costa, J. P. Papa, C. O. Lisboa, R. Munoz, and V. H. C. de Albuquerque, “Internet of Things: A survey on machine learning-based intrusion detection approaches,” *Comput. Networks*, vol. 151, pp. 147–157, 2019, doi: 10.1016/j.comnet.2019.01.023.

[20] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, “Internet of Things (IoT): A Literature Review,” *J. Comput. Commun.*, no. May, pp. 164–173, 2015, doi: 10.4236/jcc.2015.35021.

[21] A. Al-Fuqaha, “AL-FA-Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials (Accepted Publ.*, vol. 1, no. 2, pp. 78–95, 2013, doi: 10.5752/P.2316-9451.2013v1n2p78.

[22] P. P. Ray, “A survey on Internet of Things architectures,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 30, no. 3, pp. 291–319, 2018, doi: 10.1016/j.jksuci.2016.10.003.

[23] H. Joh, I. Yang, and I. Ryoo, “The internet of everything based on energy efficient P2P transmission technology with Bluetooth low energy,” *Peer-to-Peer Netw. Appl.*, vol. 9, no. 3, pp. 520–528, 2016, doi: 10.1007/s12083-015-0377-4.

[24] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.

[25] X. Chen, K. Choi, and K. Chae, “A Secure and Efficient Key Authentication using Bilinear Pairing for NFC Mobile Payment Service,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 97, no. 1, 2017, doi: 10.1007/s11277-017-4261-9.

[26] K. Kaur, “A Survey on Internet of Things - Architecture, Applications, and Future Trends,” *ICSCCC 2018 - 1st Int. Conf. Secur. Cyber Comput. Commun.*, pp. 581–583, 2019, doi: 10.1109/ICSCCC.2018.8703341.

[27] J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang, and W. Zhao, “A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and

Applications," *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1125–1142, 2017, doi: 10.1109/JIOT.2017.2683200.

[28] G. Fersi, "Middleware for Internet of Things: A Study," pp. 230–235, 2015, doi: 10.1109/dcoss.2015.43.

[29] M. J. Beevi, "A fair survey on Internet of Things (IoT)," *1st Int. Conf. Emerg. Trends Eng. Technol. Sci. ICETETS 2016 - Proc.*, 2016, doi: 10.1109/ICETETS.2016.7603005.

[30] M. A. Razzaque, M. Milojevic-Jevric, A. Palade, and S. Cla, "Middleware for internet of things: A survey," *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 1, pp. 70–95, 2016, doi: 10.1109/JIOT.2015.2498900.

[31] H. H. Pajouh, R. Javidan, R. Khayami, A. Dehghantanha, and K. K. R. Choo, "A Two-Layer Dimension Reduction and Two-Tier Classification Model for Anomaly-Based Intrusion Detection in IoT Backbone Networks," *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput.*, vol. 7, no. 2, pp. 314–323, 2019, doi: 10.1109/TETC.2016.2633228.

[32] B. Agyemang, Y. Xu, N. Sulemana, and H. Hu, "Resource-oriented architecture toward efficient device management for the Internet of Things," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–13, 2018, doi: 10.1007/s12652-018-0874-4.

[33] G. Alonso, F. Casati, H. Kuno, and V. Machiraju, "Web Services," in *Web Services*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, pp. 123–149.

[34] N. Arunachalam, A. Amuthan, M. Sharmilla, and K. Ushanandhini, "Survey on web service recommendation based on user history," *6th Int. Conf. Comput. Power, Energy, Inf. Commun. ICCPEIC 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 305–309, 2018, doi: 10.1109/ICCPEIC.2017.8290382.

[35] L. Pescosolido, R. Berta, L. Scalise, G. M. Revel, A. De Gloria, and G. Orlandi, "An IoT-inspired Cloud-based Web Service Architecture for e-Health Applications," 2016.

[36] S. Mumbaikar and P. Padiya, "Web Services Based On SOAP and REST Principles," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 3, no. 5, pp. 3–6, 2013.

[37] S. Méndez and M. Andrés, "Desarrollo de servicios REST utilizando el Framework Spring Boot: un material didáctico para la asignatura de ingeniería en software," 2018, [Online]. Available: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2609.

[38] D. Uckelmann, M. Harrison, and F. Michahelles, "An Architectural Approach Towards the Future Internet of Things," in *Architecting the Internet of Things*, 2011.

[39] P. Díaz, V. Pipek, C. Ardito, C. Jensen, I. Aedo, and A. Boden, "End-user development:5th international symposium, is-eud 2015 madrid, spain, may 26–29, 2015 proceedings," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9083, pp. 9–24, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-18425-8.

[40] M. Conti, A. Passarella, and S. K. Das, "The Internet of People (IoP): A new wave in pervasive mobile computing," *Pervasive Mob. Comput.*, vol. 41, pp. 1–27, 2017, doi:

10.1016/j.pmcj.2017.07.009.

[41] Y. Q. Xue, A. X. Chen, Y. F. Shi, and L. P. Li, “Semantic Web services platform based on software agent,” *Proc. - Int. Conf. Mach. Learn. Cybern.*, vol. 2, pp. 760–763, 2014, doi: 10.1109/ICMLC.2014.7009705.

[42] P. Pico-Valencia, J. A. Holgado-Terriza, and X. Quinonez-Ku, “A Brief Survey of the Main Internet-Based Approaches. An Outlook from the Internet of Things Perspective,” pp. 536–542, 2020, doi: 10.1109/icict50521.2020.00091.

[43] J. M. Conrad, U. N. C. Charlotte, and U. N. C. Charlotte, “Human-Robot Collaboration : A Survey,” 2015.

[44] S. C. Eastwood, V. P. Shmerko, S. N. Yanushkevich, S. Member, M. Drahansky, and D. O. Gorodnichy, “Biometric-Enabled Authentication Machines : A Survey of Open-Set Real-World Applications,” pp. 1–12, 2015.

[45] A. J. Jara, Y. Bocchi, and D. Genoud, “Determining human dynamics through the Internet of Things,” *Proc. - 2013 IEEE/WIC/ACM Int. Jt. Conf. Web Intell. Intell. Agent Technol. - Work. WI-IATW 2013*, vol. 3, pp. 109–113, 2013, doi: 10.1109/WI-IAT.2013.161.

[46] M. H. Cintuglu, T. Youssef, and O. A. Mohammed, “Development and application of a real-time testbed for multiagent system interoperability: A case study on hierarchical microgrid control,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 9, no. 3, pp. 1759–1768, 2018, doi: 10.1109/TSG.2016.2599265.

[47] R. F. Sampaio, L. S. Melo, R. P. S. Leão, G. C. Barroso, and J. R. Bezerra, “Automatic restoration system for power distribution networks based on multi-agent systems,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 11, no. 2, pp. 475–484, 2016, doi: 10.1049/iet-gtd.2016.1018.

[48] A. Khanna, R. Goyal, M. Verma, and D. Joshi, “Intelligent Traffic Management System for Smart Cities,” *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 958, no. 2, pp. 152–164, 2019, doi: 10.1007/978-981-13-3804-5_12.

[49] “Evaluación de la calidad de datos mediante código de autenticación de mensajes.” https://www.redalyc.org/jatsRepo/3604/360458834005/html/index.html (accessed Jan. 21, 2021).

[50] J. J. Zamora Zambrano, “Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas,” *MARCO Trab. PARA Desarro. Sist. BASADOS EN Colect. HUMANOS-AGENTES*, 2020, [Online]. Available: https://www.pucese.edu.ec.

[51] F. V. Valencia Aguirre, “Departamento de ciencias de la vida,” *Espe*, p. 132, 2017.

[52] J. J. Gutiérrez, “¿Qué es un framework ?,” *Available http//www. lsi. us. es/~ javierj/investigacion_ficheros/Framework. pdf Accessed May*, vol. 12, pp. 1–4, 2014, [Online]. Available: http://www.lsi.us.es/~javierj/investigacion_ficheros/Framework.pdf.

[53] “Patrón Modelo Vista Controlador | Marco de Desarrollo de la Junta de Andalucía.”

http://www.juntadeandalucia.es/servicios/madeja/contenido/recurso/122 (accessed Nov. 16, 2020).

ANEXOS

ANEXO #1

ENTREVISTA DIRIGIDA A LA PERSONA EXPERTA EN EL CAMPO EDUCATIVO CON LA FINALIDAD DE CONOCER INFORMACIÓN ACERCA DE ESTE CAMPO QUE SIRVA COMO GUÍA PARA LA CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE PRUEBA.

1. **Datos del Entrevistado**

1.1 Nombre:

1.2 Cargo:

1.3 Institución:

PREGUNTAS

2. ¿Cuál es el mayor problema académico que observa en los estudiantes?	
3. ¿Cuáles son las limitaciones que detecta para que los estudiantes no mejoren esta situación?	
4. ¿Qué sugeriría para corregir este problema?	
5. ¿Estaría de acuerdo en implementar algún sistema que permita mejorar esta problemática?	

ANEXO #2

FICHA DE OBSERVACIÓN APLICADA A LOS ECOSISTEMAS IMPLEMENTADOS EN EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN PROPUESTO

Este instrumento es parte del trabajo de investigación del estudiante Piero Palacios perteneciente a la escuela de Sistemas y Computación de la PUCESE.

<table>
<tr><td rowspan="2">1. Datos Generales</td><td>1.1 Nombre del Ecosistema:</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>1.2 Nombre de la entidad:</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">2. Descripción de la variable a medir</td><td>2.1 Nombre de Variable:</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2.2 Tipo de variable:</td><td>Cuantitativa</td><td>Cualitativa</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3. Datos obtenidos luego de la prueba</td><td>3.1 Información obtenida:</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

ANEXO #3

En primer lugar, se explica el proceso llevado a cabo en la captura de datos, el equipo y el patrón de desarrollo de software que fue necesario para la investigación. El protocolo experimental adoptado debe definir el patrón de desarrollo seleccionado para la implementación, así como el respectivo proceso para la captura de datos y a su vez el posterior procesado de los resultados arrojados y análisis de estos. Para poder definir el protocolo experimental se tuvo que definir tanto el patrón de desarrollo que se iba a seguir, como el equipo utilizado y las características que necesitaba el software a construirse.

Primero fue necesario definir el patrón de desarrollo con el que se iba a trabajar. El patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC) según Gutiérrez [52] , es un modelo para el diseño de arquitecturas de aplicaciones que brinden un alto nivel de interactividad con el usuario. Este patrón estructura la aplicación en tres arquetipos separados, el primero es un arquetipo que interpreta los datos de la aplicación, así como también sus reglas de negocio, el segundo es un grupo de vistas que escenifica los formularios de entrada y salida a través de los cuales se gestiona la información, y el último es un grupo de controladores que se encargan de procesar cada una de las peticiones de los usuarios además de controlar el flujo de ejecución del sistema.

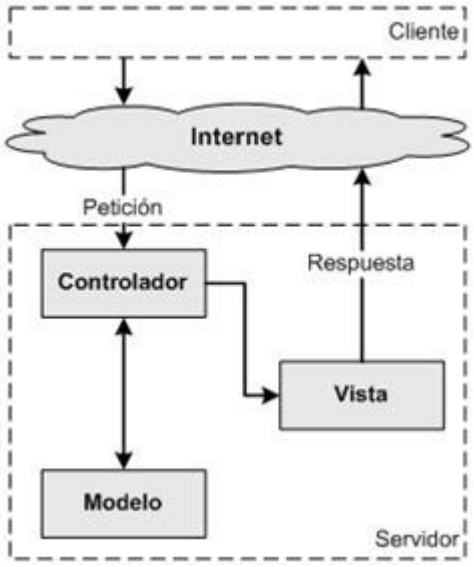


Figura 12. Patrón Modelo-Vista-Controlador [53]

Para la captura y almacenamiento de datos se utilizaron los servicios web desarrollados con el marco de trabajo SPRING, con respecto a la creación del código necesario se utilizó el lenguaje de programación JAVA para el desarrollo y la implementación de cada uno de los elementos necesarios para la creación de cada ecosistema y que exista un alto nivel de compatibilidad entre cada uno de estos, para la creación del sistema multi agente se empleó el marco de trabajo JADE con el cual se desarrollo e implementó cada uno de los elementos necesarios para la construcción del ecosistema.

Para la obtención y procesamiento de datos se usó el formato de texto estándar JSON con el cual se obtuvo una mejor lectura de los datos, y esto permitió realizar un mejor análisis de estos.

Para llevar a cabo el experimento se buscaron estudiantes entre 12 y 16 años a los que se aplicó el mismo protocolo experimental:

Calibrado del sistema: en primer lugar, se realiza el lanzamiento y configuración del sistema de preguntas creado para la realización del experimento, además de configurar la detección de rostro para el momento de empezar a usar el sistema por parte del sistema.

Control de evaluación: se sigue y monitorea el correcto procedimiento a la hora de utilizar el sistema por parte del usuario, además de estar al pendiente del correcto funcionamiento por cada uno de los componentes que integra el sistema.

Entrega de notas: para la entrega de notas se revisa la correcta finalización del sistema por parte del usuario, al cual se le entrega la nota obtenida a través del sistema, la cual posteriormente es utilizada para la predicción por parte de los agentes encargados de ello.